

KAJIAN PENSPESIESAN DAN KETOKSIKAN LOGAM  
DALAM SISTEM AKUATIK TASIK BEKAS LOMBONG BIJIH  
TIMAH MENGGUNAKAN MODEL UNJURAN

M A H M U D

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

KAJIAN PENSPESIESAN DAN KETOKSIKAN LOGAM  
DALAM SISTEM AKUATIK TASIK BEKAS LOMBONG BIJIH  
TIMAH MENGGUNAKAN MODEL UNJURAN

M A H M U D

Tesis ini dikemukakan  
sebagai memenuhi syarat penganugerahan  
ijazah Doktor Falsafah

Fakulti Sains  
Universiti Teknologi Malaysia

JUN 2005

## DEDIKASI

*Buat Emak, Ayahanda (alm.), Abang-Kakak dan Adik-Adik yang kusayangi.....*

*Juga Sahabat-Sahabatku yang banyak memberikan dorongan.....*

*Khususnya buat Isteriku tercinta dan kedua-dua putriku, Anisa Ammar dan Hafizhalaila Ammar yang kusayangi.....*

*Terima kasih buat semuanya.....*

## PENGHARGAAN

### **DENGAN NAMA ALLAH YANG MAHA PENGASIH LAGI MAHA PENYAYANG**

Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran ALLAH S.W.T. kerana dengan izin dan rahmatNYA jualah penyelidikan dan penulisan tesis ini telah dapat disiapkan. Penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan ikhlas dan terima kasih kepada Prof. Dr. Alias Mohd Yusof sebagai penyelia utama dan kepada kedua-dua penyelia bersama Prof. Madya Dr. Mustaffa Nawawi dan Prof. Dr. Md. Pauzi Abdullah atas cadangan, bimbingan, nasihat dan tunjuk ajar sepanjang tempoh penyelidikan dan penulisan tesis ini.

Pada kesempatan ini, penulis merakamkan terima kasih dan penghargaan kepada Dr. Khalik Hj. Wood dan Staf dari MINT, Bangi ke atas bantuan dan perbincangannya yang telah diberikan. Penulis juga merakamkan penghargaan dan terima kasih kepada Staf Pensyarah Jabatan Kimia, Fakulti Sains, UTM yang telah sudi memberi pandangan dan pembinaannya sepanjang pengajian ini. Ucapan yang sama ditujukan kepada Staf Sokongan Jabatan Kimia, Fakulti Sains UTM Skudai, khasnya kepada En. Ab. Hanan Md. Basri dan En. Mat Yasin Sirin yang telah bertungkus lumus membantu sepanjang projek ini dijalankan di tapak kajian dan analisis di makmal.

Penulis juga merakamkan penghargaan dan terima kasih kepada Pusat Pengurusan Penyelidikan (RMC UTM) dan Sekolah Pengajian Siswazah (SPS UTM) yang telah memberikan sokongan biaya selama menjalankan penyelidikan dan penulisan tesis ini. Begitu pula rakaman penghargaan dan terima kasih kepada Pimpinan Universitas Negeri Medan (UNIMED) yang telah meluluskan cuti belajar kepada penulis untuk melanjutkan pengajian di UTM Skudai.

Rakaman terima kasih juga disampaikan kepada semua ahli keluarga ke atas kesabaran, pengertian, bantuan, semangat dan dorongannya. Akhirnya terima kasih juga ditujukan kepada adinda Yurizal, Marwan Affandi, Nida Aksara, Bahrul Anif dan sahabat-sahabat yang lain serta semua pihak yang telah memberikan nasihat, dorongan dan bantuan baik secara langsung mahupun tidak langsung dalam menjayakan projek penyelidikan dan penulisan tesis ini. INSYA ALLAH semuanya akan diredhoi ALLAH SWT. Amin.

*Mahmud  
Jun 2005*

## ABSTRAK

Dalam persekitaran akueus, logam wujud dalam berbagai-bagai bentuk fisikokimia atau spesies yang dikelaskan berasaskan saiz zarah dan sifat ketoksikannya. Ketoksikan spesies logam boleh dijelaskan melalui pendekatan pembangunan model ketoksikan yang dikembangkan dalam kajian ini melalui dua langkah. Langkah pertama adalah menentukan nilai ketoksikan logam dengan kaedah biocerakinan dan penspesiesan logam yang dikira dengan perisian MINTEQA2, dan langkah kedua adalah menentukan sifat kelinearan daripada hubungan antara nilai ketoksikan dengan kepekatan spesies logam yang wujud melalui kaedah Regresi Rabung. Pengujian model ketoksikan spesies logam Al(III), As(III), Fe(III), Mn(II) dan Zn(II) masing-masing telah dilakukan terhadap setiap set data kualiti air hasil ujian ketoksikan logam daripada penyelidikan terdahulu, bagi mengenalpasti spesies yang toksik (pekali regresi negatif) dan tidak toksik (pekali regresi positif), dan hasil pengujian ini telah dapat menentukan sifat ketoksikan suatu spesies dengan tepat. Bagaimanapun, untuk penggunaan model ketoksikan ini memerlukan set data kualiti persekitaran akueus yang lengkap. Justru itu, telah dilakukan pemantauan parameter fisikokimia pada tasik bekas lombong bijih timah di kawasan Selangor secara berkala (Julai 1999 hingga April 2000), dan hasil analisis menunjukkan bahawa hampir kesemua nilai parameter kajian di bawah had yang dibenarkan, kecuali nilai parameter COD dan kepekatan logam Al, As, Fe dan Mn. Manakala pola taburan spesies logam yang wujud dalam setiap set data kualiti air tasik kajian bergantung pada keadaan pH. Dalam menentukan ketoksikan spesies logam Al(III), As(III), Fe(III), Mn(II) dan Zn(II) dalam setiap set data kualiti air hasil kajian ketoksikan logam individu, campuran logam dan tasik tercemar campuran logam terhadap anak ikan tilapia merah (*Oreochromis sp.*). Masing-masing hasil mendapati bahawa kenaikan keadaan keliatan dan pH dapat mengurangkan sifat ketoksikan setiap logam individu (96h-LC<sub>50</sub>, M mg/L), dan kenaikan keadaan keliatan dan pH dapat mengurangkan sifat ketoksikan campuran logam (96h-LC<sub>50</sub>, ΣTU pada TR = 1:1:1:1:1), manakala urutan ketoksikan air tasik tercemar adalah L4, L1, L5, L3 dan L2 berdasarkan masahayat ketoksikan median (LT<sub>50</sub>). Bagaimanapun, hasil kajian ketoksikan spesies logam yang wujud dalam setiap set data kualiti air yang terhasil daripada kajian ketoksikan logam dan air tasik tercemar logam telah merekodkan sejumlah spesies logam yang bersifat toksik dan spesies logam yang tidak toksik.

## ABSTRACT

In aquatic environment, metals can exist in many physicochemical forms or species that can be classified based on their particle size and toxicity. The toxicity of the metals species can be explained by the development of toxicity model which are made in two steps in this research. The first step was to determine the toxic value of metal using bioassay method and speciation calculated by MINTEQA2 software, and second step was done by the linearity relationship that exists between toxic value and species concentrations that were analysed by ridge regression method. The evaluation of toxicity model for several metals species Al(III), As(III), Fe(III), Mn(II) and Zn(II) for sets of water quality data from previous studies was carried out to measure whether the metal species are toxic (negative value of the coefficient regression) or non-toxic (positive value of the coefficient regression), and the analytical results revealed that the model being developed showed the toxic properties of metal species accurately. However, to use this toxicity model a complete water quality data of pools must be obtained. In this study, the physicochemical parameters was monitored for tin mining pools around the districts of Selangor at monthly intervals from July 1999 until April 2000, the analytical water quality results show that almost all of the parameters studied are within acceptable limits as stipulated, except for COD and Al, As, Fe and Mn. Meanwhile the type of metal species present are found to be dependent on pH. In the determination of the toxicity of metals species Al(III), As(III), Fe(III), Mn(II) and Zn(II) in each set of water quality data, a toxicity study for each individual metals, metals mixture and pools metals-mixture were carried out using juvenile tilapia merah (*Oreochromis sp.*). Results show that increasing hardness and pH can decrease the individual toxicity of metals (96h-LC<sub>50</sub> M mg/L), and decreasing the toxic property of metals mixtures (96h-LC<sub>50</sub> M,  $\Sigma$ TU are TR = 1:1:1:1:1), meanwhile the order of toxical pollution pools can be based on toxical lifetime median (LT<sub>50</sub>) were L4, L1, L5, L3 and L2. Nevertheless, toxical result of metal species exist in setting water quality from toxical studies and water pools metal pollution was indicated by the amount of toxic metals species and nontoxic metals species for tilapia merah juvenile.

## **SENARAI KANDUNGAN**

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>
	<b>PENGESAHAN STATUS TESIS</b>	
	<b>PENGESAHAN SEKOLAH PENGAJIAN SISWAZAH</b>	
	<b>T A J U K</b>	i
	<b>PENGAKUAN PENYELIAAN</b>	ii
	<b>PENGAKUAN KARYA</b>	iii
	<b>DEDIKASI</b>	iv
	<b>PENGHARGAAN</b>	v
	<b>ABSTRAK</b>	vi
	<b>ABSTRACT</b>	vii
	<b>SENARAI KANDUNGAN</b>	Viii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	Xvi
	<b>SENARAI RAJAH</b>	Xxiv
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	Xxx
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xxxiii
<b>1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Latar Belakang Kajian	3
	1.3 Tujuan dan Objektif Kajian	12
	1.4 Skop Kajian	13

<b>2</b>	<b>KANDUNGAN DAN PENSPEKIESAN KIMIA DALAM SISTEM AKUEUS</b>	<b>15</b>
2.1	Pengenalan	15
2.2	Tasik Sebagai Sumber Air	16
2.3	Kandungan Air Semula Jadi	19
2.4	Logam dan Penspesiesan Kimia Dalam Air Semula Jadi	21
2.4.1	Aluminium	25
2.4.1.1	Penspesiesan Aluminium Dalam Sistem Akueus	26
2.4.2	Arsenik	31
2.4.2.1	Penspesiesan Arsenik Dalam Sistem Akueus	32
2.4.3	Besi	35
2.4.3.1	Penspesiesan Besi Dalam Sistem Akueus	37
2.4.4	Mangan	40
2.4.4.1	Penspesiesan Mangan Dalam Sistem Akueus	41
2.4.5	Zink	43
2.4.5.1	Penspesiesan Zink Dalam Sistem Akueus	44
2.4.6	Nikel	47
2.4.6.1	Penspesiesan Nikel Dalam Sistem Akueus	48
2.4.7	Kobalt	49
2.4.7.1	Penspesiesan Kobalt Dalam Sistem Akueus	50
2.4.8	Kromium	52
2.4.8.1	Penspesiesan Kromium Dalam Sistem Akueus	52
2.4.9	Kadmium	55
2.4.9.1	Penspesiesan Kadmium Dalam	56



	Sistem Akueus	
2.4.10	Kuprum	58
2.4.10.1	Penspesiesan Kuprum Dalam Sistem Akueus	59
2.4.11	Antimoni	61
2.4.11.1	Penspesiesan Antimoni Dalam Sistem Akueus	62
2.4.12	Selenium	64
2.4.12.1	Penspesiesan Selenium Dalam Sistem Akueus	65
2.4.13	Uranium	68
2.4.13.1	Penspesiesan Uranium Dalam Sistem Akueus	69
2.4.14	Vanadium	70
2.4.14.1	Penspesiesan Vanadium Dalam Sistem Akueus	71
2.5	Model Penspesiesan Kimia	72
2.5.1	Model Penspesiesan Kimia Secara Ujikaji	73
2.5.2	Model Penspesiesan Kimia Secara Pengiraan	78
2.5.2.1	Penggunaan Model Perisian Komputer	83
<b>3</b>	<b>MENGUJI MODEL KETOKSIKAN SPESIES LOGAM DALAM SISTEM AKUEUS</b>	<b>86</b>
3.1	Pengenalan	86
3.2	Perumusan Matematik Model MINTEQA2	88
3.3	Kaedah Analisis Statistik	94
3.3.1	Pinsip Asas Kaedah Regresi Berganda	95
3.4	Ujian Model Ketoksikan Speises Logam	98
3.4.1	Ujian Kesahihan Model MINTEQA2 Terhadap Penspesiesan Logam Dalam Sistem Akueus	99

3.4.1.1	Ujian Perisian MINTEQA2 Terhadap Logam Aluminium	100
3.4.1.2	Ujian Perisian MINTEQA2 Terhadap Logam Arsenik	101
3.4.1.3	Ujian Perisian MINTEQA2 Terhadap Logam Besi (III)	103
3.4.1.4	Ujian Perisian MINTEQA2 Terhadap Logam Mangan	104
3.4.1.5	Ujian Perisian MINTEQA2 Terhadap Logam Zink	106
3.4.2	Ujian Model Ketoksikan Spesies Aluminium	106
3.4.3	Ujian Model Ketoksikan Spesies Arsenik(III)	109
3.4.4	Ujian Model Ketoksikan Spesies Besi(III)	111
3.4.5	Ujian Model Ketoksikan Spesies Mangan	113
3.4.6	Ujian Model Ketoksikan Spesies Zink	115
3.5	Hasil dan Perbincangan	118
3.5.1	Kajian Kesahihan Model Penspesiesan MINTEQA2	118
3.5.2	Kesan Kualiti Air Terhadap Ketoksikan	128
3.5.3	Ketoksikan Logam Terhadap Organisma Akuatik	131
3.5.4	Kajian Kesahihan Model Ketoksikan Spesies Logam	133
3.6	Kesimpulan	136
<b>4</b>	<b>PEMONITORAN KUALITI AIR TASIK BEKAS LOMBONG BIJIH TIMAH DI SELANGOR DAN KAWASAN LUAR BANDARAYA KUALA LUMPUR</b>	<b>138</b>
4.1	Pengenalan	138
4.2	Kajian Pemonitoran Kualiti Air	139
4.3	Kawasan Tasik Kajian	143

4.4	Eksperimen	146
4.4.1	Parameter Kajian dan Pensampelan	146
4.4.2	Kaedah Analisis Kualiti Air	148
4.4.3	Bahan Kimia dan Peralatan	149
4.4.4	Kaedah Analisis ICP-MS	150
4.4.4.1	Penyediaan Larutan Piawai ICP-MS	150
4.4.4.2	Syarat dan Keadaan Pengoperasian ICP-MS	151
4.4.4.3	Had Pengesanan dan Keluk Penentukuran Linear Untuk Kaedah Analisis ICP-MS	152
4.5	Hasil dan Perbincangan	153
4.5.1	Taburan Suhu dan pH	156
4.5.2	Taburan Kekonduksian dan Jumlah Pepejal Terampai	160
4.5.3	Taburan Keliatan, Kealkalian dan Keasidan	164
4.5.4	Taburan Oksigen Terlarut (DO), Keperluan Oksigen Biokimia (BOD) dan Keperluan Oksigen Kimia (COD)	168
4.5.5	Taburan Anion	174
4.5.6	Taburan Aluminium dan Arsenik	181
4.5.7	Taburan Besi dan Mangan	188
4.5.8	Taburan Zink dan Nikel	193
4.5.9	Taburan Kromium dan Kobalt	197
4.5.10	Taburan Kadmium dan Kuprum	201
4.5.11	Taburan Antimoni dan Selenium	205
4.5.12	Taburan Vanadium dan Uranium	210
4.6	Kesimpulan	214
<b>5</b>	<b>KAJIAN PENSPEKIESAN LOGAM DALAM AIR TASIK BEKAS LOMBONG BIJIH TIMAH</b>	<b>216</b>

5.1	Pengenalan	216
5.2	Kajian Penspesiesan Kimia Dengan Berbantuan Model Perisian MINTEQA2	218
5.3	Analisis Penspesiesan Logam Dalam Air Tasik	220
5.4	Hasil dan Perbincangan	220
5.4.1	Penspesiesan Aluminium Dalam Air Tasik Kajian	221
5.4.2	Penspesiesan Arsenik Dalam Air Tasik Kajian	228
5.4.3	Penspesiesan Besi Dalam Air Tasik	234
-	5.4.4 Penspesiesan Mangan Dalam Air Tasik	240
	5.4.5 Penspesiesan Zink Dalam Air Tasik	246
	5.4.6 Penspesiesan Nikel Dalam Air Tasik	252
	5.4.7 Penspesiesan Kobalt Dalam Air Tasik	254
	5.4.8 Penspesiesan Vanadium Dalam Air Tasik	255
	5.4.9 Penspesiesan Uranium Dalam Air Tasik	256
	5.4.10 Penspesiesan Kromium Dalam Air Tasik	257
	5.4.11 Penspesiesan Kuprum Dalam Air Tasik	259
	5.4.12 Penspesiesan Selenium Dalam Air Tasik	260
	5.4.13 Penspesiesan Antimoni Dalam Air Tasik	261
	5.4.14 Penspesiesan Kadmium Dalam Air Tasik	262
5.5	Kesimpulan	263
<b>6</b>	<b>KAJIAN PENSPESESAN DAN KETOKSIKAN LOGAM ALUMINIUM, ARSENIK, BESI, MANGAN DAN ZINK TERHADAP ANAK IKAN TILAPIA MERAH (<i>Oreochromis sp.</i>)</b>	<b>265</b>
6.1	Pengenalan	265
6.2	Kajian Ketoksikan Logam Terhadap Organisma Akuatik	267
6.2.1	Ketoksikan Akut	268
6.2.2	Ketoksikan Kronik	269

6.2.3	Ketoksikan Campuran Logam	270
6.2.4	Pengenalan Spesis dan Habitat Ikan Tilapia Merah	271
6.3	Metodologi Kajian	272
6.3.1	Bahan Kimia dan Peralatan	273
6.3.2	Penyediaan Sampel	273
6.3.2.1	Pengambilan Sampel Anak Ikan Tilapia Merah	273
6.3.2.2	Pemeliharaan dan Aklimatisasi Anak Ikan	274
6.3.2.3	Persampelan Air Tasik Bekas Lombong Bijih Timah	275
6.3.3	Kajian Ketoksikan Logam	275
6.3.3.1	Penyediaan Stok Air Pencairan	276
6.3.3.2	Penyediaan Stok Larutan Logam	276
6.3.3.3	Penyediaan Larutan Pendedahan	278
6.3.3.4	Ujikaji Penentuan Ketoksikan Akut Logam Individu	278
6.3.3.5	Ujikaji Penentuan Ketoksikan Campuran Lima Logam (Al, As, Fe, Mn dan Zn)	280
6.3.3.6	Ujikaji Ketoksikan Logam Dalam Air Tasik Bekas Lombong Bijih Timah Terhadap Anak Ikan Tilapia Merah	283
6.4	Hasil dan Perbincangan	284
6.4.1	Kesan pH dan Keliatan Terhadap Ketoksikan Logam Aluminium	285
6.4.2	Kesan pH dan Keliatan Terhadap Ketoksikan Logam Arsenik	287
6.4.3	Kesan pH dan Keliatan Terhadap Ketoksikan Besi	289
6.4.4	Kesan pH dan Keliatan Terhadap Ketoksikan	292

	Mangan	
6.4.5	Kesan pH dan Keliatan Terhadap Ketoksikan Zink	294
6.4.6	Kesan pH dan Keliatan Terhadap Ketoksikan Campuran Logam Al, As, Fe, Mn dan Zn ke Atas Anak Ikan Tilapia Merah	298
6.4.7	Kesan Kualiti Air Tasik Tercemar Terhadap Ketoksikan Campuran Logam Al, As, Fe dan Mn ke Atas Anak Ikan Tilapia Merah	301
6.5	Kesimpulan	303
<b>7</b>	<b>PENUTUP</b>	<b>305</b>
7.1	Kesimpulan	305
7.2	Cadangan	307
	<b>RUJUKAN</b>	<b>308</b>
	<b>SENARAI PEMBENTANGAN</b>	<b>339</b>
	<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	<b>340</b>

## SENARAI JADUAL

BIL JADUAL	T A J U K	HALAMAN
1.1	Julat kepekatan unsur surihan yang terdapat dalam air semula jadi daripada pelbagai sumber di Amerika Syarikat (van der Leeden <i>et al.</i> , 1990).	4
1.2	Saiz hampiran bentuk fisikokimia daripada spesies logam dalam air semula jadi (Pickering, 1995).	5
1.3	Ramalan sebahagian besar bentuk-bentuk unsur surihan yang didapati dalam air tawar dan sungai (Markert dan Geller, 1994).	6
1.4	Bentuk spesies kimia daripada unsur-unsur surihan yang penting dalam alam sekitar (Allen <i>et al.</i> , 1993).	8
2.1	Beberapa ciri-ciri air yang mempunyai kepentingan biologi (Ahmad Ismail dan Ahmad Badri, 1992).	16
2.2	Komposisi purata kepekatan spesies kimia (mg/L) dalam air sungai di kawasan dunia (Livingstone, 1963).	20
2.3	Tindak balas hidrolisis dan pemalar keaktifan keseimbangan besi (Lindsay, 1979).	37
2.4	Penspesiesan logam menurut kaedah Knudson (1976).	74
3.1	Susunan matriks daripada spesies, komponen dan nilai log K dalam sistem $\text{Fe}^{+3}\text{--Ca}^{+2}\text{--PO}_4^{-3}\text{--CO}_3^{-2}\text{--H}_2\text{O}$ (Morel dan Morgan, 1972).	92
3.2	Hubungan nilai parameter k dengan nilai pekali Regresi Rabung, $\beta$ (Rawling, 1988).	97
3.3	Beberapa sumber set data ketoksikan logam yang digunakan untuk ujian model ketoksikan yang dibina.	99

<b>3.4</b>	Beberapa sumber set data kualiti air yang digunakan untuk ujian model perisian MINTEQA2 terhadap logam.	100
<b>3.5</b>	Set data kualiti air daripada Goenaga dan William (1988) untuk ujian penspesiesan aluminium.	100
<b>3.6</b>	Taburan spesies Al(III) ( $\mu\text{g/L}$ ) yang dikira dengan perisian COMPLEX, MINTEQA2 v. 3.10, dan MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Goenaga dan Williams (1988).	101
<b>3.7</b>	Set data kualiti air daripada Jeyasingham dan Ling (2000) untuk ujian penspesiesan dan ketoksikan As(III) terhadap Spesies Khironomid: <i>Chironomus zealandicus</i> , <i>Chironomus sp a</i> dan <i>Polypedilum pavidus</i> .	102
<b>3.8</b>	Taburan spesies As(III) ( $\text{mg/L}$ ) yang dikira dengan perisian MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Jeyasingham dan Ling (2000).	103
<b>3.9</b>	Set data kualiti daripada Dalzell dan MacFarlane (1999) untuk ujian penspesiesan dan ketoksikan Fe(III) terhadap Brown trout.	104
<b>3.10</b>	Taburan spesies Fe(III) ( $\text{mg/L}$ ) yang dikira dengan perisian MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Dalzell dan MacFarlane (1999).	104
<b>3.11</b>	Set data kualiti air daripada Lasier <i>et al.</i> , (2000) untuk ujian penspesiesan dan ketoksikan mangan terhadap <i>Ceriodaphnia dubia</i> dan <i>Hyaella azteca</i> .	105
<b>3.12</b>	Taburan spesies mangan ( $\text{mg/L}$ ) yang dikira dengan perisian MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Lasier <i>et al.</i> (2000).	105
<b>3.13</b>	Set data kualiti air untuk ujian penspesiesan zink daripada Pagenkopf (1980).	106
<b>3.14</b>	Taburan spesies zink ( $\mu\text{g/L}$ ) yang dikira dengan beberapa perisian COMICS (Perrin, 1974) dan perisian MINTEQA2 v. 3.10 dan dan MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Pagenkopf (1980).	107
<b>3.15</b>	Set data kualiti air tasik Nepptjern untuk ujian ketoksikan aluminium terhadap larva <i>Salmo salar L.</i> daripada Lydersen <i>et al.</i> (1990).	108



<b>3.16</b>	Taburan spesies Al(III) (-Log M) yang dikira dengan kedua-dua perisian MINTEQA2 v. 3.10 dan v. 4.02 ke atas set data kualiti air Tasik Neptjern untuk uji ketoksikan <i>Salmo salar</i> L. (Lydersen <i>et al.</i> , 1990).	108
<b>3.17</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap spesies aluminium terhadap <i>Salmo salar</i> L. <sup>a)</sup> dan <i>Salmo trutta</i> L. <sup>b)</sup> . Taburan kepekatan spesies Al(III) (-log M) sebagai Pembolehubah Bebas dan Nilai LT <sub>50</sub> sebagai Pembolehubah Tidak Bebas.	109
<b>3.18</b>	Taburan spesies As(III) (-Log M) yang dikira dengan kedua-dua perisian MINTEQA2 v. 3.10 dan v. 4.02 ke atas set data kualiti air ujian ketoksikan arsenik terhadap hidupan akuatik ( <i>Chironomus zealandicus</i> , <i>Chironomus</i> sp. a dan <i>Polypedilum pavidus</i> ) daripada Jeyasingham dan Ling (2000).	110
<b>3.19</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap spesies As(III) terhadap <i>Chironomus zealandicus</i> , <i>Chironomus</i> sp. a dan <i>Polypedilum pavidus</i> . Taburan kepekatan spesies As(III) (-Log M) sebagai Pembolehubah Bebas dan Nilai LC <sub>50</sub> (As, mg/L) sebagai Pembolehubah Tidak Bebas.	111
<b>3.20</b>	Taburan kepekatan spesies Fe(III) (-log M) yang dikira dengan kedua-dua perisian MINTEQA2 v. 3.10 dan v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Dalzell dan MacFarlane (1999) untuk ujian ketoksikan besi terhadap Brown trout.	112
<b>3.21</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap spesies Fe(III) terhadap Brown trout. Taburan kepekatan spesies Fe(III) (-Log M) sebagai Pembolehubah Bebas dan Nilai LC <sub>50</sub> (Fe, mg/L) sebagai Pembolehubah Tidak Bebas.	113
<b>3.22</b>	Taburan kepekatan spesies Mn(II) (-Log M) yang dikira dengan kedua-dua perisian MINTEQA2 v. 3.10 dan v. 4.02 ke atas set data kualiti air ujian ketoksikan mangan terhadap <i>Ceriodaphnia dubia</i> dan <i>Hyaella azteca</i> daripada Lasier <i>et al.</i> (2000).	114
<b>3.23</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap spesies Mn(II) terhadap <i>Ceriodaphnia dubia</i> dan <i>Hyaella azteca</i> . Taburan kepekatan spesies mangan (-Log M) sebagai Pembolehubah Bebas dan Nilai LC <sub>50</sub> (Mn, mg/L) sebagai Pembolehubah Tidak Bebas.	115
<b>3.24</b>	Set data kualiti air daripada Bradley dan Sprague (1985) untuk ujian ketoksikan zink terhadap Rainbow trout.	116

<b>3.25</b>	Taburan kepekatan spesies Zn(II) (-Log M) yang dikira dengan kedua-dua perisian MINTEQA2 v. 3.10 (Erdawati, 1997) dan MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air ujian ketoksikan zink terhadap Rainbow trout daripada Bradley dan Sprague (1985).	117
<b>3.26</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap spesies Zn(II) yang dikira dengan kedua-dua perisian MINTEQA2 v. 3.10 (Erdawati, 1997) dan MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air ujian ketoksikan zink terhadap Rainbow trout daripada Bradley dan Sprague (1985). Kepekatan spesies Zn(II) (-Log M) sebagai Pembolehubah bebas dan nilai 96h-LC <sub>50</sub> (Zn, mg/l) sebagai Pembolehubah Tidak Bebas.	117
<b>3.27</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap spesies Zn(II) yang dikira dengan perisian MINTEQA2 v. 3.10 oleh Erdawati (1997) ke atas set data kualiti air kajian daripada Nehring dan Goetti (1974) terhadap Cutthroat trout dan Brown trout. Kepekatan spesies Zn(II) (-Log M) sebagai Pembolehubah bebas dan nilai 96h-LC <sub>50</sub> (Zn, mg/l) sebagai Pembolehubah Tidak Bebas.	118
<b>3.28</b>	Taburan kepekatan Al(III) ( $\mu\text{g/L}$ ) dalam setiap spesies Al(III) yang dikira dengan perisian COMPLEX, MINTEQA2 v. 3.10 dan v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Geonaga dan William (1988).	120
<b>3.29</b>	Taburan kepekatan As(III) (mg/L) dalam setiap spesies As(III) yang dikira dengan perisian MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Jeyasingham dan Ling (2000).	121
<b>3.30</b>	Taburan kepekatan Fe(III) (mg/L) spesies Fe(III) yang dikira dengan perisian MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Dalzell dan MacFarlane (1999).	121
<b>3.31</b>	Taburan kepekatan Mn(II) (mg/L) dalam spesies Mn(II) yang dikira dengan perisian MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Dalzell dan MacFarlane (1999).	122
<b>3.32</b>	Taburan kepekatan Zn(II) ( $\mu\text{g/L}$ ) dalam setiap spesies Zn(II) yang dikira dengan perisian COMICS, MINTEQA2 v. 3.10 dan MINTEQA2 v. 4.02 ke atas set data kualiti air daripada Pagenkopf (1980).	123
<b>3.33</b>	Taburan kepekatan spesies logam (pM) dalam air sungai yang dikira dengan pelbagai perisian (Nordstrom et al. 1979).	124

3.34	Taburan dan perbandingan nilai indeks ketepuan beberapa spesies mineral air bawah tanah yang terdapat pada beberapa perisian (Broyd <i>et al.</i> , 1985).	125
3.35	Taburan Speises Zink (%) dalam air laut (Florence, 1982).	128
3.36	Kesan suhu dan kemasinan terhadap nilai $LT_{50}$ bagi <i>Praumus flexuosus</i> (Muller) pada kepekatan zink (McLusky dan Hagerman, 1987).	129
3.37	Kesan masa pendedahan dan kepekatan aluminium terhadap peratus kematian <i>Salmo salar</i> L pada pH 5.5 (Buckler <i>et al.</i> , 1995).	131
3.38	Nilai pekali regresi Rabung setiap spesies aluminium yang wujud terhadap beberapa hidupan akuatik <i>Salmo salar</i> L. dan <i>Salmo trutta</i> L. serta anak ikan mas <i>Cyprinus carpio</i> L. (Erdawati, 1997).	133
3.39	Nilai pekali regresi Rabung setiap spesies Zn(II) yang wujud terhadap beberapa hidupan akuatik Rainbow trout, Brook trout dan Cutthroat trout serta anak ikan mas <i>Cyprinus carpio</i> L. (Erdawati, 1997).	135
4.1	Parameter kualiti air dan kaedah analisis yang digunakan.	148
4.2	Kandungan unsur dalam stok Larutan Piawai yang digunakan untuk analisis dengan kaedah ICP-MS.	150
4.3	Ringkasan nilai purata dan nilai julat parameter kualiti air tasik pada setiap stesen kajian.	154
4.4	Kriteria pencemaran air berdasarkan kepekatan DO, BOD dan COD system efluen kumbahan dan industri (Wiro Sarjono, 1974).	174
4.5	Ringkasan nilai purata dan nilai julat kepekatan unsur logam dalam air tasik pada setiap stesen kajian.	182
5.1	Ringkasan peratus taburan spesies Al(III) pada pelbagai pH terendah, tertinggi dan purata bagi setiap stesen kajian.	222
5.2	Tindak balas keseimbangan spesies Al(III) dan pemalar keaktifan aluminium dalam sistem akueus (Lidsay, 1979 <sup>a</sup> ; USEPA, 1999 <sup>b</sup> ).	229
5.3	Ringkasan peratus taburan spesies As(III) pada pelbagai pH terendah, tertinggi dan purata bagi setiap stesen kajian.	230

<b>5.4</b>	Tindak balas keseimbangan spesies As(III) dan pemalar keaktifan arsenik dalam sistem akueus (USEPA, 1999).	234
<b>5.5</b>	Ringkasan peratus taburan spesies Fe(III) pada pelbagai pH terendah, tertinggi dan purata bagi setiap stesen kajian.	236
<b>5.6</b>	Ringkasan peratus taburan spesies Mn(II) pada pelbagai pH terendah, tertinggi dan purata bagi setiap stesen kajian.	241
<b>5.7</b>	Tindak balas keseimbangan dan pemalar keaktifan spesies Mn(II) dalam sistem akueus (USEPA, 1999).	246
<b>5.8</b>	Ringkasan peratus taburan spesies Zn(II) pada pelbagai pH terendah, tertinggi dan purata bagi setiap stesen kajian.	248
<b>5.9</b>	Tindak balas keseimbangan dan pemalar keaktifan spesies Zn(II) dalam sistem akueus (USEPA, 1999).	252
<b>5.10</b>	Purata peratus taburan spesies Ni(II) yang wujud dalam air tasik selama kajian dijalankan.	253
<b>5.11</b>	Purata peratus taburan spesies Co(II) yang wujud dalam air tasik selama kajian dijalankan.	255
<b>5.12</b>	Purata peratus taburan spesies V(V) yang wujud dalam air tasik selama kajian dijalankan.	256
<b>5.13</b>	Purata peratus taburan spesies U(VI) yang wujud dalam air tasik selama kajian dijalankan.	257
<b>5.14</b>	Purata peratus taburan spesies Cr(III) yang wujud dalam air tasik selama kajian dijalankan.	258
<b>5.15</b>	Purata peratus taburan spesies Cu(II) yang wujud dalam air tasik selama kajian dijalankan.	260
<b>5.16</b>	Purata peratus taburan spesies Se(IV) yang wujud dalam air tasik selama kajian dijalankan.	261
<b>5.17</b>	Purata peratus taburan spesies Sb(III) yang wujud dalam air tasik selama kajian dijalankan.	262
<b>6.1</b>	Peratus status kualiti air sungai selama tahun 1992 – 1998 di Malaysia (Jamaluddin, 2001).	266
<b>6.2</b>	Kepekatan setiap logam (mg/L) yang didedahkan pada keliatan 80 dan 180 mg/L CaCO <sub>3</sub> dan siri pH (6.60, 7.00, 7.50 dan 8.00) untuk ujian ketoksikan setiap logam terhadap anak ikan tilapia merah.	279

<b>6.3</b>	Purata nilai 96h-LC <sub>50</sub> setiap logam (mg/L) terhadap anak ikan tilapia merah.	280
<b>6.4</b>	Kepekatan setiap logam (mg/L) pada keliatan 80 g/L CaCO <sub>3</sub> dan pelbagai pH untuk ujian ketoksikan campuran ( $\Sigma$ TU pada TR 1:1:1:1:1) logam terhadap anak ikan tilapia merah.	281
<b>6.5</b>	Kepekatan setiap logam (mg/L) pada keliatan 180 g/L CaCO <sub>3</sub> dan pelbagai pH untuk ujian ketoksikan campuran logam ( $\Sigma$ TU pada TR 1:1:1:1:1) terhadap anak ikan tilapia merah.	282
<b>6.6</b>	Purata nilai 96h-LC <sub>50</sub> ( $\Sigma$ TU pada TR 1:1:1:1:1) dan kepekatan setiap logam (mg/L) dalam campuran lima logam (Al, As, Fe, Mn dan Zn) pada pelbagai pH dan keliatan terhadap anak ikan tilapia merah.	283
<b>6.7</b>	Ringkasan data jangkamasa ketoksikan median (LT <sub>50</sub> ) daripada setiap set data kualiti air tasik tercemar terhadap anak ikan tilapia merah	284
<b>6.8</b>	Hasil penspesiesan Al(III) (mg/L) daripada set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan aluminium terhadap anak ikan tilapia merah.	286
<b>6.9</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) spesies Al(III) yang wujud dalam set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan aluminium terhadap anak ikan tilapia merah.	287
<b>6.10</b>	Hasil penspesiesan As(III) (mg/L) daripada set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan arsenik terhadap anak ikan tilapia merah.	289
<b>6.11</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) spesies As(III) yang wujud dalam set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan arsenik terhadap anak ikan tilapia merah.	289
<b>6.12</b>	Hasil penspesiesan Fe(III) (mg/L) daripada set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan besi terhadap anak ikan tilapia merah.	291
<b>6.13</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) spesies Fe(III) yang wujud dalam set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan besi terhadap anak ikan tilapia merah.	291
<b>6.14</b>	Hasil penspesiesan Mn(II) (mg/L) daripada set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan besi terhadap anak ikan tilapia merah.	293

<b>6.15</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) spesies Mn(II) yang wujud dalam set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan mangan terhadap anak ikan tilapia merah.	294
<b>6.16</b>	Hasil penspesiesan Zn(II) (mg/L) daripada set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan zink terhadap anak ikan tilapia merah.	297
<b>6.17</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) spesies Zn(II) yang wujud dalam set data kualiti air untuk ujikaji ketoksikan zink terhadap anak ikan tilapia merah.	297
<b>6.18</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap logam dalam campuran untuk membentuk ketoksikan campuran logam (96h-LC <sub>50</sub> $\Sigma$ TU pada TR = 1:1:1:1:1) terhadap anak ikan tilapia merah.	299
<b>6.19</b>	Julat nilai kepekatan setiap spesies logam (mg/L) dalam set data kualiti air ujian ketoksikan campuran kelima-lima logam Al, As, Fe, Mn dan Zn (96h-LC <sub>50</sub> $\Sigma$ TU pada TR = 1:1:1:1:1) terhadap anak ikan tilapia merah.	300
<b>6.20</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap logam dalam campuran untuk membentuk ketoksikan campuran logam (96h-LC <sub>50</sub> $\Sigma$ TU pada TR = 1:1:1:1:1) terhadap anak ikan tilapia merah.	301
<b>6.21</b>	Ringkasan hasil penentuan jangkamasa ketoksikan median (LT <sub>50</sub> ) daripada set data kualiti air tasik tercemar terhadap anak ikan tilapia merah.	302
<b>6.22</b>	Nilai pekali Regresi Rabung ( $\beta$ ) setiap spesies logam yang wujud dalam set data kualiti air tasik tercemar untuk ujian ketoksikan logam terhadap anak ikan tilapia merah.	303

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	T A J U K	HALAMAN
1.1	Perkembangan perisian komputer untuk penentuan penspesiesan kimia (Kincaid <i>et al.</i> , 1984).	11
2.1	Stratifikasi lapisan-lapisan air dalam tasik atau hempangan.	18
2.2	Taburan unsur surihan di antara fasa pepejal dan fasa akueus dalam persekitaran akuatik (Allard <i>et al.</i> , 1987).	22
2.3	Penspesiesan dan serapan logam (M) secara am dalam persekitaran akuatik (Allard <i>et al.</i> , 1987).	23
2.4	Keseimbangan kelarutan spesies aluminium dalam larutan yang berhubung dengan fasa pepejal $\text{Al}(\text{OH})_3$ baru pada 25 °C (Snoeyink dan Jenkins, 1980).	29
2.5	Keseimbangan kelarutan spesies aluminium dalam larutan yang berhubung dengan fasa pepejal $\text{Al}(\text{OH})_3$ lama pada 25 °C (Snoeyink dan Jenkins, 1980).	29
2.6	Gambarajah medan kestabilan spesies arsenik pepejal dan terlarut dalam sistem As-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera yang dikawal oleh Eh dan pH (Rai <i>et al.</i> , 1984).	34
2.7	Pengagihan taburan spesies Fe(III) hidroksida sebagai fungsi pH (Stumm dan Morgan, 1981).	38
2.8	Gambarajah medan kestabilan spesies basi pepejal dan terlarut dalam sistem Fe-S-C-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Hem, 1985).	39

<b>2.9</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies mangan pepejal dan terlarut dalam sistem Mn-C-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Baes dan Mesmer, 1976).	43
<b>2.10</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies zink pepejal dan terlarut dalam sistem Zn-S-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Hem, 1972).	46
<b>2.11</b>	Pelbagai keaktifan spesies $\text{Ni}^{2+}$ di mana keaktifan $\text{Ni}^{2+}$ tetap $10^{-7}$ M dan $\text{Ni}(\text{OH})_2$ dikawal (Rai <i>et al.</i> , 1984).	49
<b>2.12</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies kobalt pepejal dan terlarut dalam sistem Co-S-C-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Brookins, 1988).	51
<b>2.13</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies kromium pepejal dan terlarut dalam sistem Cr-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Pourbaix, 1966).	55
<b>2.14</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies kadmium pepejal dan terlarut dalam sistem Cd-S-C-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Hem, 1972).	57
<b>2.15</b>	Kestabilan dan penspesiesan Cu(II) dalam sistem air-karbon dioksida semula jadi (Stumm dan Morgan, 1981).	61
<b>2.16</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies antimoni pepejal dan terlarut dalam sistem Sb-S-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Rai <i>et al.</i> , 1984).	63
<b>2.17</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies selenium pepejal dan terlarut dalam sistem Se-O-H pada 25 °C, 1 atmosfera dan keaktifan Se terlarut = $10^{-6}$ sebagai fungsi Eh dan pH (Brookins, 1988).	66
<b>2.18</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies uranium pepejal dan terlarut dalam sistem U-C-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Brookins, 1988).	70
<b>2.19</b>	Gambarajah medan kestabilan spesies vanadium pepejal dan terlarut dalam sistem V-O-H pada 25 °C dan 1 atmosfera sebagai fungsi Eh dan pH (Brookins, 1988).	72
<b>3.1</b>	Skema membangunkan model ketoksikan spesies kimia.	88
<b>4.1</b>	Lokasi kedudukan tasik, kawasan dan stesen persampelan pada Negeri Selangor Darul Takzim Malaysia.	145



<b>4.2</b>	Taburan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	157
<b>4.3</b>	Taburan pH dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	159
<b>4.4</b>	Taburan kekonduksian ( $\text{mS/cm}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	161
<b>4.5</b>	Taburan TSS ( $\text{mg/L}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	163
<b>4.6</b>	Taburan keliatan ( $\text{mg/L}$ sebagai $\text{CaCO}_3$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	165
<b>4.7</b>	Taburan keaklalian ( $\text{mg/L}$ $\text{CaCO}_3$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	167
<b>4.8</b>	Taburan keasidan ( $\text{mg/L}$ $\text{CaCO}_3$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	169
<b>4.9</b>	Taburan DO ( $\text{mg/L}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	170
<b>4.10</b>	Taburan BOD ( $\text{mg/L}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	172
<b>4.11</b>	Taburan COD ( $\text{mg/L}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	173
<b>4.12</b>	Taburan nitrat ( $\text{mg/L}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	176
<b>4.13</b>	Taburan sulfat ( $\text{mg/L}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	177
<b>4.14</b>	Taburan fluorida ( $\text{mg/L}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	179
<b>4.15</b>	Taburan klorida ( $\text{mg/L}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	180
<b>4.16</b>	Taburan aluminium ( $\text{ng/mL}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	185
<b>4.17</b>	Taburan arsenik ( $\text{ng/mL}$ ) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	187

<b>4.18</b>	Taburan besi (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	190
<b>4.19</b>	Taburan mangan (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	192
<b>4.20</b>	Taburan zink (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	194
<b>4.21</b>	Taburan nikel (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	196
<b>4.22</b>	Taburan kromium (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	198
<b>4.23</b>	Taburan kobalt (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	200
<b>4.24</b>	Taburan kadmium (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	202
<b>4.25</b>	Taburan kuprum (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	204
<b>4.26</b>	Taburan antimoni (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	207
<b>4.27</b>	Taburan selenium (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	209
<b>4.28</b>	Taburan vanadium (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	211
<b>4.29</b>	Taburan uranium (ng/mL) dalam air tasik selama kajian dijalankan (Julai 1999 sehingga April 2000).	213
<b>5.1</b>	Pola taburan spesies Al(III) selama kajian pada kedua-dua stesen 1 dan stesen 2 di dalam air Tasik Domai.	224
<b>5.2</b>	Pola taburan spesies Al(III) selama kajian pada kedua-dua stesen 7 dan stesen 8 di dalam air Tasik Puchong Buaya.	226
<b>5.3</b>	Purata taburan kepekatan spesies Al(III) selama kajian pada kedua-dua stesen 9 dan stesen 10 di dalam air Tasik Kelana Jaya.	227
<b>5.4</b>	Pola taburan spesies As(III) selama kajian pada kedua-dua stesen 1 dan stesen 2 di dalam air Tasik Domai.	232

<b>5.5</b>	Pola taburan spesies As(III) selama kajian pada kedua-dua stesen 7 dan stesen 8 di dalam air Tasik Puchong Buaya.	233
<b>5.6</b>	Pola taburan spesies Fe(III) selama kajian pada kedua-dua stesen 1 dan stesen 2 di dalam air Tasik Domai.	237
<b>5.7</b>	Pola taburan spesies Fe(III) selama kajian pada kedua-dua stesen 7 dan stesen 8 di dalam air Tasik Puchong Buaya.	239
<b>5.8</b>	Pola taburan spesies Mn(II) selama kajian pada kedua-dua stesen 1 dan stesen 2 di dalam air Tasik Domai.	242
<b>5.9</b>	Pola taburan spesies Mn(II) selama kajian pada kedua-dua stesen 7 dan stesen 8 di dalam air Tasik Puchong Buaya.	244
<b>5.10</b>	Pola taburan spesies Zn(II) selama kajian pada kedua-dua stesen 1 dan stesen 2 di dalam air Tasik Domai.	249
<b>5.11</b>	Pola taburan spesies Zn(II) selama kajian pada kedua-dua stesen 7 dan stesen 8 di dalam air Tasik Puchong Buaya.	250
<b>6.1</b>	Kesan pH pada kedua-dua keliatan terhadap ketoksikan aluminium ke atas anak ikan tilapia merah.	285
<b>6.2</b>	Kesan pH pada kedua-dua keliatan terhadap ketoksikan arsenik ke atas anak ikan tilapia merah.	288
<b>6.3</b>	Kesan pH pada kedua-dua keliatan terhadap ketoksikan besi ke atas anak ikan tilapia merah.	290
<b>6.4</b>	Kesan pH pada kedua-dua keliatan terhadap ketoksikan mangan ke atas anak ikan tilapia merah.	293
<b>6.5</b>	Kesan pH pada kedua-dua keliatan terhadap ketoksikan zink ke atas anak ikan tilapia merah.	295
<b>6.6</b>	Kesan pH pada kedua-dua keliatan terhadap ketoksikan campuran kelima-lima logam Al, As, Fe, Mn dan Zn (96h-LC <sub>50</sub> , $\Sigma$ TU; pada TR = 1:1:1:1:1) ke atas anak ikan tilapia merah.	298

## SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	T A J U K	HALAMAN
<b>A1</b>	Beberapa Rajah Model Penspesiesan Mengikut Berbagai-bagai Kaedah.	340
<b>A2</b>	Berbagai-bagai penentuan spesies logam dengan menggunakan gabungan kaedah pemisahan dan kaedah pengukuran.	342
<b>A3</b>	Pelbagai Jenis Model Perisian Komputern Keluaran USEPA Yang Boleh Dihubungi Melalui Laman Web Site.	343
<b>B1</b>	Senarai komponen kimia yang terdapat dalam pengkalan data MINTEQA2 (Allison <i>et al.</i> , 1991, USEPA, 1999).	346
<b>B2</b>	Contoh Fail Aturcara Pemasukan Data ke Dalam Perisian PRODEFA2.	347
<b>B3</b>	Contoh Fail Kemasukan (input file) Bagi Penspesiesan Logam.	355
<b>B4</b>	Contoh Fail Pengeluaran (out file) Pada Penentuan Spesies Logam.	356
<b>C1</b>	Ringkasan Peraturan Bagi Perlindungan Sumber Air Malaysia (Erdawati, 1999).	365
<b>C2</b>	Kriteria Kualiti Air Malaysia (Jabatan Alam Sekitar, 1986a) Dan Pertubuhan Kesihatan Dunia (WHO, 1996).	366
<b>C3</b>	Rajah Keadaan Kawasan Tasik Persampelan.	368
<b>C4</b>	Rajah-Rajah Beberapa Alat Yang Digunakan Untuk Analisis Sampel Kajian.	371
<b>C5</b>	Keadaan Parameter Operasi Alat Perkin-Elmer SCIEX ELAN 6000 ICP-MS.	372

<b>C6</b>	Contoh Lembar Cetakan Hasil Analisis Larutan Dengan Kaedah ICP-MS.	373
<b>C7</b>	Hasil Analisis Penentuan Logam Dalam Sampel Larutan Piawai Dan Had Pengesanan Dengan Kaedah Analisis ICP-MS.	380
<b>C8</b>	Rajah-Rajah plot Penentukuran Piawai Setiap Logam Yang Ditentukan Dengan Menggunakan Kaedah Analisis ICP-MS Pada Pelbagai Julat Kepekatan.	382
<b>C9</b>	Data Hasil Analisis Penentuan Parameter Kualiti Air Tasik Bekas Lombong Bijih Timah Di Selangor D.T. dan Kawasan Luar Bandaraya Kuala Lumpur.	384
<b>C10</b>	Hasil penentuan nilai parameter ANOVA Faktor Tunggal (tahap kepercayaan 95 %) ke atas setiap parameter kualiti air tasik kajian.	409
<b>D1</b>	Pekali Pengubah Unit Kepekatan Molar (M) Kepada Bahagian Perbillion (ppb atau ng/mL) Setiap Spesies Logam Yang Wujud.	423
<b>D2</b>	Data Hasil Penentuan Spesies Logam (ng/mL) Dalam Air Tasik Bekas Lombong Bijih Timah Di Selangor Dan Kawasan Luar Bandaraya Kuala Lumpur.	424
<b>E1</b>	Data kualiti air paip daripada Sarikat Air Johor (SAJ) di dalam Makmal Analisis Radiokimia, Fakulti Sains UTM, Skudai.	456
<b>E2</b>	Senarai data kesan keliatan dan pH terhadap ujian ketoksikan masing-masing individu logam (Al, As, Fe, Mn dan Zn) ke atas anak ikan tilapia merah.	457
<b>E3</b>	Senarai set data kualiti air dan nilai ketoksikan (96h-LC <sub>50</sub> M, mg/L) masing-masing individu logam (Al, As, Fe, Mn dan Zn) ke atas anak ikan tilapia merah.	462
<b>E4</b>	Senarai data kesan keliatan dan pH terhadap ujian ketoksikan campuran lima logam Al, As, Fe, Mn dan Zn ( $\Sigma$ TU dengan TR=1:1:1:1:1) ke atas anak ikan tilapia merah.	464
<b>E5</b>	Set data kualiti air dengan Berbagai-bagai nilai unit ketoksikan campuran lima logam Al, As, Fe, Mn dan Zn (96h-LC <sub>50</sub> , $\Sigma$ TU pada TR = 1:1:1:1:1) ke atas anak ikan tilapia merah.	465
<b>E6</b>	Pola taburan taburan spesies logam (mg/L) dalam set data kualiti air untuk ujian ketoksikan campuran logam (96h_LC <sub>50</sub> ,	466

STU; TR = 1:1:1:1:1) terhadap anak ikan tilapia merah daripada Lampiran 5.

<b>E7</b>	Senarai set data kualiti air tasik tercemar dan nilai ketoksikan (LT <sub>50</sub> ) terhadap anak ikan tilapia merah.	467
-----------	--	-----

## SENARAI SINGKATAN

AAS	-	spektrofotometri serapan atom
Ag	-	argentum
Al	-	aluminium
Al <sub>i</sub>	-	aluminium tak organik
Al <sub>j</sub>	-	aluminium jumlah
Al <sub>n</sub>	-	koloid aluminium yang bercas negatif
Al <sub>o</sub>	-	oluminium organik
Al <sub>p</sub>	-	koloid aluminium yang bercas positif
Al <sub>z</sub>	-	aluminium zarah
As	-	arsenik
ASV	-	voltammetri perlucutan anodik
Ba	-	barium
Be	-	berillium
BOD	-	keperluan oksigen biologi
C	-	kepekatan ion
Cd	-	kadmuim
CEC	-	kapasiti penukaran kation
Co	-	kobalt
COD		keperluan oksigen kimia
Cr	-	kromium
Cu	-	kuprum
DO	-	oksigen terlarut
DOC	-	karbon organik terlarut
Eh	-	keupayaan pengoksidaan
F	-	fluor

Fe	- besi
GC	- kromatografi gas
GFAAS	- spektrometri serapan atom-relau grafit
Hg	- merkuri
HNO <sub>3</sub>	- asid nitrit
HPLC	- kromatografi cecair prestasi tinggi
IC	- kromatografi ion
ICP-AES	- spektrometri pemancaran atom-plasma teraruh gandingan
ICP-MS	- spektrometri jisim plasma teraruh gandingan
IKAN	- indeks kualiti air negara
k	- kekonduksian
km	kilo meter
K <sub>sp</sub>	- pemalar keseimbangan
L	- formula logam
L	- liter
LC	- kromatografi cecair
LC-CVAAS	- kromatografi cecair-spektrofotometer penyerapan atom wap-sejuk
log K <sub>T</sub>	- logaritma pemalar kesetabilan pada suhu piawai.
log K <sup>o</sup>	- logaritma Keseimbangan
log K <sub>T</sub>	- logaritma pemalar keseimbangan pada suhu sistem sekitaran.
L <sup>-y</sup>	- ligan
LT <sub>50</sub>	- jangka masa tertentu yang boleh membunuh 50% daripada organisma yang didedahkan.
log M	- logaritma molariti
m	- kepekatan logam (mg/L) yang ditentukan dalam campuran
M <sup>+x</sup>	- logam
M <sub>d</sub>	- logam yang terdialisis
M <sub>f</sub>	- logam yang terlarut
M <sub>ie</sub>	- logam tertukar ganti
Mn	- mangan
Mo	- molibdenum



$M_p$	- logam zarah
$M_t$	- logam jumlah
NAA	- analisis pengaktifan neutron
Ni	- nikel
P	- bilangan parameter selain daripada nilai $\beta$ .
P0	- akuarium kawalan
P1-P6	akuarium pendedahan setiap logam
Pb	- plumbum
pH	- keasidan
ppm	- bahagian per juta
R	- pemalar molar gas ( $\approx 2 \times 10^{-3} \text{ kcal mol}^{-1} \text{ deg}^{-1}$ ).
RMC	- Pusat Pengurusan Penyelidikan
Sb	- antimoni
Se	- selenium
Sn	- timah
SPS	- Sekolah Pengajian Siswazah
T	- suhu sistem sekitaran ( $^{\circ}\text{K}$ ).
T	- nilai ketoksikan (96h-LC <sub>50</sub> ) setiap logam
TR	- nisbah ketoksikan setiap logam dalam campuran logam
TSS	- jumlah pepejal terampai
TU <sub>L</sub>	- unit ketoksikan setiap logam dalam campuran logam
UNIMED	- Universitas Negeri Medan
USA	- Amerika Syarikat
UTM	- Universiti Teknologi Malaysia
UV	- ultra violet (ultra lembayung)
V	- vanadium
W	- tungsten
WHO	- Pertubuhan Kesihatan Dunia
X	- matriks $N \times M$ daripada pembolehubah bebas
$X'$	- matriks transposisi daripada matrik pembolehubah bebas
Y	- matriks $N \times 1$ daripada pembolehubah tak bebas
$Z_i$	- cas spesies ion
Zn	- zink

96h-LC <sub>50</sub>	- kepekatan bahan toksik yang boleh membunuh 50% daripada organisma yang didedahkan selama 96 jam (4 hari).
$\Delta H_r^0$	- perubahan entalpi tindak balas piawai (kcal mol <sup>-1</sup> ).
%	- peratus
$\beta$	- matriks Nx1 daripada pekali regresi linear berganda
$\Sigma \alpha_1^2$	- hasil tambah kuasa dua pekali regresi kaedah kuasa dua terkecil kecuali nilai pintasan, dihitung dengan menggunakan pembolehubah bebas yang diabaikan.
$\lambda_1$	- nilai Eigen ke I.
$\alpha_1$	- $Q'\beta$ , yang mana Q ialah suatu matrik ortagonal p x p supaya $Q'X'XQ = A$ . A adalah suatu matriks pepenjuru mengandungi nilai Eigen bagi matriks $X'X$ . $\beta$ adalah vektor penganggaran kaedah kuasa dua terkecil.
$\sigma^2$	- min kuasa dua ralat daripada kaedah kuasa dua terkecil.
(k)	- parameter regresi Rabung
$\mu L$	- mikro Liter
$(M-L)^{+x-y}$	- kompleks
$\Sigma TU$	- jumlah unit ketoksikan campuran kelima-lima logam yang disediakan menurut TR yang ditentukan.
$(X'X)^{-1}$	- salingan daripada matriks $(X'X)$
( $\beta$ )	- dengan pekali regresi linear berganda

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Pengenalan**

Kewujudan air di alam sekitar merupakan suatu rahmat Allah yang besar kepada makhluk sejagat dan mendapat kedudukan penting kepada kehidupan, dengan kepentingan utamanya adalah untuk memenuhi keperluan fisiologi sebagai air minuman kepada manusia, haiwan dan tumbuhan. Air yang baik juga diperlukan untuk memenuhi keperluan domestik, pertanian, perindustrian dan perlombongan. Dalam konteks Malaysia, ketersediaan air semula jadi berupa air permukaan boleh didapati dalam pelbagai jasad air seperti sungai, tasik, empangan, paya dan lautan. Bagaimanapun, sejak pertumbuhan industri dan pemodenan kebanyakan air permukaan telah dicemari oleh bahan-bahan toksik yang dihasilkan daripada berbagai-bagai sumber pencemar seperti pelepasan efluen-efluen domestik, industri, perlombongan pertanian dan pertanian yang masuk ke dalam jasad air. Jabatan Alam Sekitar (1986b) telah memaklumkan bahawa buangan industri adalah sebagai punca utama kerugian usaha penternakan ikan dalam sangkar pada beberapa sistem sungai dan tasik. Bagaimanapun, usaha pemuliharaan kualiti alam sekitar di Malaysia dipertanggung-jawabkan kepada Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar. Untuk mewujudkan pentingnya usaha pemuliharaan ini, perundangan yang berkaitan dengan kualiti alam sekitar iaitu Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974 telah mencatatkan piawai untuk efluen kumbahan industri yang dilepaskan bagi mengawal pencemaran dan pemulihan suatu kawasan yang telah tercemar. Akta ini juga menyediakan asas perundangan untuk mengkoordinasikan

semua aktiviti yang berkaitan dengan alam sekitar di seluruh negeri dalam Kerajaan Malaysia.

Akibat aktiviti perlombongan, kawasan Lembah Klang di Negeri Selangor, Malaysia banyak memiliki kawasan bekas lombong bijih timah yang terbiar (Amran Hj. Abdullah, 1983), di antaranya menjadi kawasan tasik dan paya yang menjadi habitat lentik bagi kehidupan flora, fauna dan organisma akuatik, dengan keadaan kualiti alam sekitar yang tidak terkawal. Manakala, melalui aktiviti sektor lain seperti industri dan perniagaan telah dapat meningkatkan hasil ekonomi Malaysia yang memerlukan peluasan tapak kawasan industri, perumahan, pemukiman dan taman rekreasi (Adenan Abdul Latif, 1985). Untuk itu kawasan bekas lombong berupa tasik cetek telah ditimbus untuk dijadikan kawasan perumahan dan perdagangan (Adenan Abdul Latif, 1985). Terdapat sejumlah tasik dalam di kawasan pusat bandar telah dijadikan taman rekreasi air, namun sebahagian tasik dalam yang lain masih terbiar dengan kualiti air dan sekitaran yang lebih kompleks. Secara amnya, tasik bekas lombong ini mendapat bekalan air daripada resapan air bawah tanah dan/atau daripada air larian permukaan yang melalui kawasan sekeliling tasik yang mungkin merupakan kawasan pertanian, penternakan, perumahan, pemukiman, perniagaan dan perindustrian yang boleh mendatangkan kemerosotan kualiti air tasik bekas lombong bijih timah berupa perubahan sifat fizik dan kimia air. Kemerosotan kualiti air yang disimpan dalam jasad air tasik bermula dengan berkurangnya kadar oksigen terlarut (Stephens dan Imberger, 1993) dan apabila keadaan ini berterusan berlaku dalam sistem akuatik maka terjadi hal-hal berikut: (i) memberi kesan tertentu terhadap kehidupan akuatik (Boyd, 1988); (ii) bentuk besi dan mangan akan terturun; (iii) bentuk sulfat akan terturun menjadi sulfida yang menghasilkan bau busuk; (iv) diikuti naiknya kadar karbon dioksida terlarut seiring dengan turunnya pH (Symon *et al.*, 1970) dan (v) kenaikan kekonduksian yang utamanya pada lapisan hipolimnion kerana terjadi kelarutan endapan amonia dan silikon di dasar tasik (Sholkovitz, 1985).

Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar sebagai agensi kerajaan adalah yang bertanggung jawab dalam menentukan kriteria kualiti air dan telah menganggarkan tahap kepekatan kandungan logam dalam air yang boleh mendatangkan kesan tertentu di dalam air sungai dan tasik terhadap organisma

akuatik. Pengukuran ketoksikan akut terhadap organisma akuatik kerap digunakan sebagai suatu kriteria air adalah parameter jangkamasa hayat 96 jam (96h-LC<sub>50</sub> iaitu suatu nilai kepekatan bahan tertentu yang boleh menyebabkan 50 peratus organisma akuatik mati dalam masa 96 jam) atau parameter jangkamasa ketoksikan median (LT<sub>50</sub> iaitu suatu jangka masa tertentu yang boleh menyebabkan 50 peratus organisma maut pada suatu nilai kepekatan).

## 1.2 Latar Belakang Kajian

Air semula jadi merupakan sistem multi-komponen yang kompleks yang kebanyakan bahan wujud dalam pelbagai bentuk fisiko-kimia dari segi saiz dan cas yang senantiasa menjalani berbagai-bagai bentuk transformasi. Kewujudan dan kandungan berbagai-bagai bahan fizik dan kimia dalam jasad air semula jadi dapat menentukan kualiti air disamping boleh memberi maklumat pencemaran di persekitaran akuatik. Nilai julat kepekatan unsur surihan yang terkandung dalam air semula jadi daripada pelbagai sumber di USA telah dikemukakan oleh Jabatan Penilaian Teknologi Amerika Syarikat (U. S. Office of Technology Assessment) pada tahun 1984 ditunjukkan dalam Jadual 1.1 (van der Leeden *et al.*, 1990). Dalam konteks Malaysia pula, kajian pemantauan kualiti air tasik, takungan dan kolam untuk tujuan kajian stratifikasi kepada beberapa parameter fisiko-kimia sahaja yang telah dilakukan oleh sejumlah penyelidik (Fatimah Md. Yusoff *et al.*, 1982; Fatimah Md. Yusoff *et al.*, 1984; Fatimah Md. Yusoff dan Sharr, 1987; Wan Azam Wan Hamid, 1994; Fatimah Md. Yusoff dan Lock, 1995; Fatimah Md. Yusoff *et al.*, 1995; Fatimah Md. Yusoff, 1996; Noor Salehin Md. Nor, 1988; Nasfryzal Carlo, 1999), manakala Ahmad Abbas Kutty dan Lai Mei Hue (2001) melakukan kajian kepada kandungan beberapa parameter dan kandungan logam yang lebih banyak. Bagaimanapun, kehadiran pelbagai unsur, logam dan asbestos dalam air boleh menjadi toksik kepada ekosistem akuatik atau mungkin terkumpul dalam rantai makanan apabila kehadiran unsur-unsur dalam air telah melebihi aras yang dibenarkan. Oleh itu sangat perlu untuk melakukan pemantauan kualiti air tasik terbiar, disamping itu menjadi penting pula untuk mempelajari sifat ketoksikan,

pembiotumpukan, angkutan, penjerapan unsur yang terjerap secara kimia mahupun secara biologi bagi suatu unsur.

**Jadual 1.1:** Julat kepekatan unsur surihan yang terdapat dalam air semula jadi daripada pelbagai sumber di Amerika Syarikat (van der Leeden *et al.*, 1990).

Unsur Surihan			Kepekatan (mg L <sup>-1</sup> )	Unsur Surihan			Kepekatan (mg L <sup>-1</sup> )
Aluminium	Al		0.1 – 1200	Besi	Fe		0.04 – 6200
Arsenik	As		0.01 – 2100	Plumbum	Pb		0.01 – 5.60
Barium	Ba		2.8 – 3.80	Mangan	Mn		0.1 – 110
Berillium	Be		< 0.01	Merkuri	Hg		0.003 – 0.01
Kadmuim	Cd		0.01 – 180	Nikel	Ni		0.05 – 0.50
Kromium	Cr		0.06 – 2740	Selenium	Se		0.6 – 20
Kobalt	Co		0.01 – 0.18	Argentum	Ag		9.0 – 330
Kuprum	Cu		0.01 – 2.80	Vanadium	V		0.1 – 243
Fluorida	F		0.1 – 250	Zink	Zn		0.1 – 240

Sifat toksik suatu unsur atau logam dalam persekitaran lebih ditentukan oleh bentuk spesifik fisiko-kimianya dan bukan oleh kepekatan jumlahnya (Buffle, 1981), justeru menjadi penting untuk mempelajari bentuk spesies unsur atau logam tersebut. Kenyataannya kerana ketidaksamaan bentuk fisiko-kimia daripada unsur atau logam telah membawa kepada perbezaan dalam sifat fizik, kimia dan biologinya. Contohnya, kromium mempunyai valensi tiga dan enam yang kedua-dua spesies Cr(III) dan Cr(VI) mempunyai perbezaan keperluan. Bagaimanapun, spesies Cr(III) merupakan unsur surihan penting kerana ia dapat memperkuat fungsi insulin dan merangsang pemakaian glukosa (Harper *et al.*, 1980), manakala spesies Cr(VI) bagi tubuh berbahaya kerana ia dapat menyebabkan penyakit kulit, alahan dan asma (Langard dan Norseth., 1979).

Pickering (1995), telah membahagikan bentuk fisiko-kimia daripada spesies logam dalam air semula jadi kepada komponen ‘terlarut’ dan ‘tak larut’ berdasarkan

saiz diameter molekul iaitu: bahan terlarut (1 – 10 nm), koloid (10 – 5000 nm) dan zarah (>5000 nm) seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.2. Bagaimanapun, Markert dan Geller (1994) telah menyenarai ramalan bentuk spesies kimia daripada unsur surihan yang boleh wujud dalam air tawar dan sungai, seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.3. Kenyataan ramalan yang boleh didapati daripada Jadual 1.3 adalah diperolehi sejumlah bentuk spesies daripada unsur surihan yang wujud dalam sistem akuatik, di antaranya sejumlah spesies  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{AlOH}^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ , dan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  bagi aluminium; sejumlah spesies  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$  dan  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$  bagi arsenik; kelima-lima spesies  $\text{SeO}_3^{2-}$ ,  $\text{HSeO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{SeO}_3$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$  dan  $\text{HSeO}_4$  bagi selenium. Terdapat pula unsur surihan yang hanya menghasilkan satu spesies sahaja dalam sistem akuatik di antaranya  $\text{Sb}(\text{OH})_6^-$  bagi antimoni;  $\text{Ba}^{2+}$  bagi barium,  $\text{Be}(\text{OH})_2^+$  bagi berilium;  $\text{Mn}^{2+}$  bagi mangan;  $\text{MoO}_4^{2-}$  bagi molibdenum; dan  $\text{Th}^+$  bagi talium. Jadual 1.3 juga menunjukkan sejumlah unsur surihan yang boleh menghasilkan dua atau lebih spesies kimia yang wujud dalam sistem akueus. Begitu pula, ternyata sejumlah unsur surihan dalam sistem akueus boleh mewujudkan spesies kimia (Pais dan Jones, 1997).

**Jadual 1.2:** Saiz hampiran bentuk fisiko-kimia daripada spesies logam dalam air semula jadi (Pickering, 1995).

Bentuk Kimia	Contoh	Diameter (nm)
Terlarut:		1-10
Ion logam terhidrat	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$	0.8
Kompleks tak organik ringkas	$\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_3\text{Cl}^+$	1-2
Sebatian tak organik stabil	$\text{ZnCO}_3$	1-2
Kompleks organik ringkas	Cu-glisinat	1-2
Sebatian organik stabil	Cu-fulvat	2-4
Koloid:		10-5000
Terjerap pada koloid tak organik	$\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$	
Terjerap pada koloid organik	$\text{Pb}^{2+}$ , asid humik	
Terjerap pada campuran koloid tak organik dan organik	$\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ /asid humik	
Sebatian organik stabil		
Zarah:		>5000
Mendakan	$\text{PbCO}_3$	
Zarah mineral	$\text{PbS}$	
Logam yang terjerap pada pepejal	$\text{M}^{2+}$ , MS pada mineral	
Logam yang terikat pada jisim organik	Logam pada alga	

**Jadual 1.3:** Ramalan sebahagian besar bentuk-bentuk unsur surihan yang didapati dalam air tawar dan sungai (Markert dan Geller, 1994).

Unsur Surihan		Bentuk-bentuk utama spesies kimia
Aluminium	Al	$\text{Al}(\text{OH})_4^-$ , mungkin: $\text{Al}^{3+}$ , $\text{AlOH}^{2+}$ , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ , $\text{Al}(\text{OH})_3$
Antimoni	Sb	$\text{Sb}(\text{OH})_6^-$
Arsenik	As	$\text{HAsO}_4^{2-}$ , $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ mungkin: $\text{H}_3\text{AsO}_4$ , $\text{AsO}_4^{3-}$ atau $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$
Barium	Ba	$\text{Ba}^{2+}$
Berillium	Be	$\text{Be}(\text{OH})_2^+$
Boron	B	$\text{B}(\text{OH})_3$ atau $\text{B}(\text{OH})_4^-$
Kadmium	Cd	$\text{Cd}^{2+}$ dan $\text{CdOH}^+$
Serium	Ce	$\text{Ce}^{3+}$ atau $\text{CeOH}^{2+}$
Kromium	Cr	$\text{CrO}_4^{2-}$ atau $\text{Cr}(\text{OH})_3$
Kobalt	Co	$\text{Co}^{2+}$ dan $\text{CoCO}_3$
Kuprum	Cu	$\text{CuOH}^+$ dan $\text{CuCO}_3$
Galium	Ga	$\text{Ga}(\text{OH})_4^-$
Germanium	Ge	$\text{Ge}(\text{OH})_4$
Emas	Au	$\text{Au}(\text{OH})_4^-$
Besi	Fe	$\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ dalam daerah mengandungi oksigen; $\text{Fe}^{2+}$ dalam keadaan terturun
Plumbum	Pb	$\text{PbCO}_3$ atau sebagai $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2^{2-}$
Mangan	Mn	$\text{Mn}^{2+}$
Merkuri	Hg	$\text{Hg}(\text{OH})_2$ dan $\text{HgOHCl}$
Molibdenum	Mo	$\text{MoO}_4^{2-}$
Nikel	Ni	$\text{Ni}^{2+}$ , juga $\text{NiCO}_3$
Selenium	Se	$\text{SeO}_3^{2-}$ , mungkin: $\text{HSeO}_3^-$ , $\text{H}_2\text{SeO}_3$ , $\text{SeO}_4^{2-}$ dan $\text{HSeO}_4^-$
Argentum	Ag	$\text{Ag}^+$
Strontium	Sr	$\text{Sr}^{2+}$ , mungkin $\text{SrOH}^+$
Talium	Tl	$\text{Tl}^+$
Timah	Sn	Sebatian-sebatian monometil-, dimetil- dan trimetil-timah.
Vanadium	V	$\text{H}_2\text{VO}_4^-$ atau $\text{HVO}_4^{2-}$
Zink	Zn	$\text{Zn}^{2+}$ , $\text{ZnOH}^+$ , atau $\text{ZnCO}_3$



Allen *et al.*, (1993) telah mengemukakan bentuk spesies kimia daripada unsur surihan yang boleh didapati dalam kedua-dua media tanah dan akuatik serta telah menganggarkan darjah ketoksikan bagi setiap unsur, seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.4. Daripada Jadual 1.4 tersebut dapat dilihat bahawa unsur surihan dapat membentuk beberapa spesies kimia dalam kedua-dua media tanah dan air dengan sebahagian bentuk spesies unsur bersifat toksik. Secara amnya, dapat dilihat bahawa unsur surihan dalam sistem akueus dapat menghasilkan spesies, seperti arsenik menghasilkan spesies  $\text{AsO}_4^{3-}$  yang toksik; mangan menghasilkan spesies  $\text{Mn}^{2+}$  yang toksik dan  $\text{Mn}^{4+}$  yang kurang toksik; zink menghasilkan spesies  $\text{Zn}^{2+}$  yang toksik; nikel menghasilkan spesies  $\text{Ni}^{2+}$  yang toksik. Juga terdapat beberapa logam dalam bentuk spesies logam-organik yang lebih bersifat toksik daripada bentuk tak organik seperti, spesies metil merkuri adalah lebih toksik daripada bentuk sebatian tak organiknya. Namun bagi beberapa unsur lain, seperti Al, Cu dan Co adalah lebih toksik dalam bentuk ion bebas daripada bentuk tak organik (Lu *et al.*, 1972). Perbezaan dalam penspesiesan juga akan mempengaruhi darjah jerapannya atas jirim terampai, kadar perpindahan ke sedimen dan perpindahan keseluruhan dalam suatu sistem air (Florence, 1986). Kerananya, analisis penspesiesan kimia boleh membantu dalam meramalkan sejauh mana suatu sistem akueus dipengaruhi oleh pemasukan buangan dari suatu punca pencemaran (Florence, 1986).

Sifat kimia air yang untuk pertama kali dikenali dapat mempengaruhi sifat ketoksikan logam adalah kealkalian dan keliatan, yang dengan kenaikan kepekatan kealkalian dan keliatan dapat menurunkan ketoksikan kuprum terhadap alga (Steemann-Nielsen dan Wium-Andersen, 1971), juga didapati hubungan yang sama terhadap invertebrata (Andrew *et al.*, 1977; Gauss *et al.*, 1985), demikian pula terhadap ikan (Shaw dan Brown, 1974; Sprague dan Ramsay, 1965; Chakoumakos *et al.*, 1979). Untuk itu para penyelidik telah melaporkan bahawa sifat kimia air boleh dikaitkan dengan darjah ketoksikan logam (Pagenkopf *et al.*, 1974). Manakala, sifat kimia lain seperti pH, oksigen terlarut, kemasinan dan sebatian organik tertentu dikenali dapat memberi kesan terhadap ketoksikan logam. Contohnya, bahawa pengkelatan oleh sebatian organik ke dalam larutan kuprum dapat menurunkan ketoksikan kuprum terhadap alga (Borgmann dan Ralph, 1984). Disamping itu, dengan kenaikan pH di atas neutral ternyata larutan kuprum dapat menurunkan ketoksikan kuprum terhadap alga pula (Sunda dan Guilard, 1976).

**Jadual 1.4:** Bentuk spesies kimia daripada unsur-unsur surihan yang penting dalam alam sekitar (Allen *et al.*, 1993).

Unsur surihan		Spesies kimia yang berpengaruh <sup>a</sup>		Spesies paling toksik <sup>b</sup>
		Tanah	Air	
Antimoni	Sb	$\text{Sb}^{\text{III}} \text{O}_x$	$\text{Sb}(\text{OH})_6^-$ ?	
Arsenik	As	$\text{AsO}_4^{3-}$	$\text{AsO}_4^{3-}$ , $\text{AsO}_3^{3-}$	$\text{AsO}_3^{3-}$
Barium	Ba	$\text{Ba}^{2+}$	$\text{Ba}^{2+}$	$\text{Ba}^{2+}$
Berillium	Be	$\text{Be}^{2+}$ , $\text{Be}_x\text{O}_y^{2x-2y}$	$\text{Be}^{2+}$	$\text{Be}^{2+}$
Bismut	Bi	$\text{Bi}^{3+}$	$\text{Bi}^{3+}$ ,	
Boron	B	$\text{B}(\text{OH})_3$	$\text{B}(\text{OH})_3$	$\text{B}(\text{OH})_3$
Kadmuim	Cd	$\text{Cd}^{2+}$	$\text{Cd}^{2+}$	$\text{Cd}^{2+}$
Kromium	Cr	$\text{Cr}^{3+}$	$\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cr}^{6+}$	$\text{Cr}^{6+}$
Kobalt	Co	$\text{Co}^{2+}$	$\text{Co}^{2+}$	$\text{Co}^{2+}$
Kuprum	Cu	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$ -fulvat	$\text{Cu}^{2+}$
Plumbum	Pb	$\text{Pb}^{2+}$	$\text{Pb}(\text{OH})^+$	$\text{Pb}^{2+}$
Mangan	Mn	$\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Mn}^{4+}$	$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Mn}^{2+}$
Merkuri	Hg	$\text{Hg}^{2+}$ , $\text{CH}_3\text{Hg}$	$\text{Hg}(\text{OH})_2$ , $\text{HgCl}_2$	$\text{CH}_3\text{Hg}$
Molibdenum	Mo	$\text{MoO}_4^{2-}$	$\text{MoO}_4^{2-}$	$\text{MoO}_4^{2-}$
Nikel	Ni	$\text{Ni}^{2+}$	$\text{Ni}^{2+}$	$\text{Ni}^{2+}$
Selenium	Se	$\text{H}_2\text{SeO}_3$ , $\text{SeO}_4^{2-}$	$\text{SeO}_4^{2-}$	$\text{SeO}_4^{2-}$
Argentum	Ag	$\text{Ag}^+$	$\text{Ag}^+$	$\text{Ag}^+$
Timah	Sn	$\text{Sn}(\text{OH})_6^{2-}$ , ?	$\text{Sn}(\text{OH})_6^{2-}$ , ?	
Tungsten	W	$\text{WO}_4^{2-}$	$\text{WO}_4^{2-}$	
Vanadium	V	$\text{V}^{\text{IV}} \text{O}_x$		
Zink	Zn	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Zn}^{2+}$

<sup>a</sup> Sama sekali tidak untuk pasangan ion atau spesies ion kompleks.

<sup>b</sup> Mempertimbangkan darjah keterbiosediaan.

Kajian ketoksikan logam berat dan surihan terhadap kehidupan akuatik menjadi suatu yang penting oleh ahli-ahli sains, termasuklah kajian kepada kelima-lima logam aluminium, arsenik, besi, mangan dan zink baik secara individu mahupun campuran logam. Kajian ketoksikan individu logam aluminium telah dilakukan di

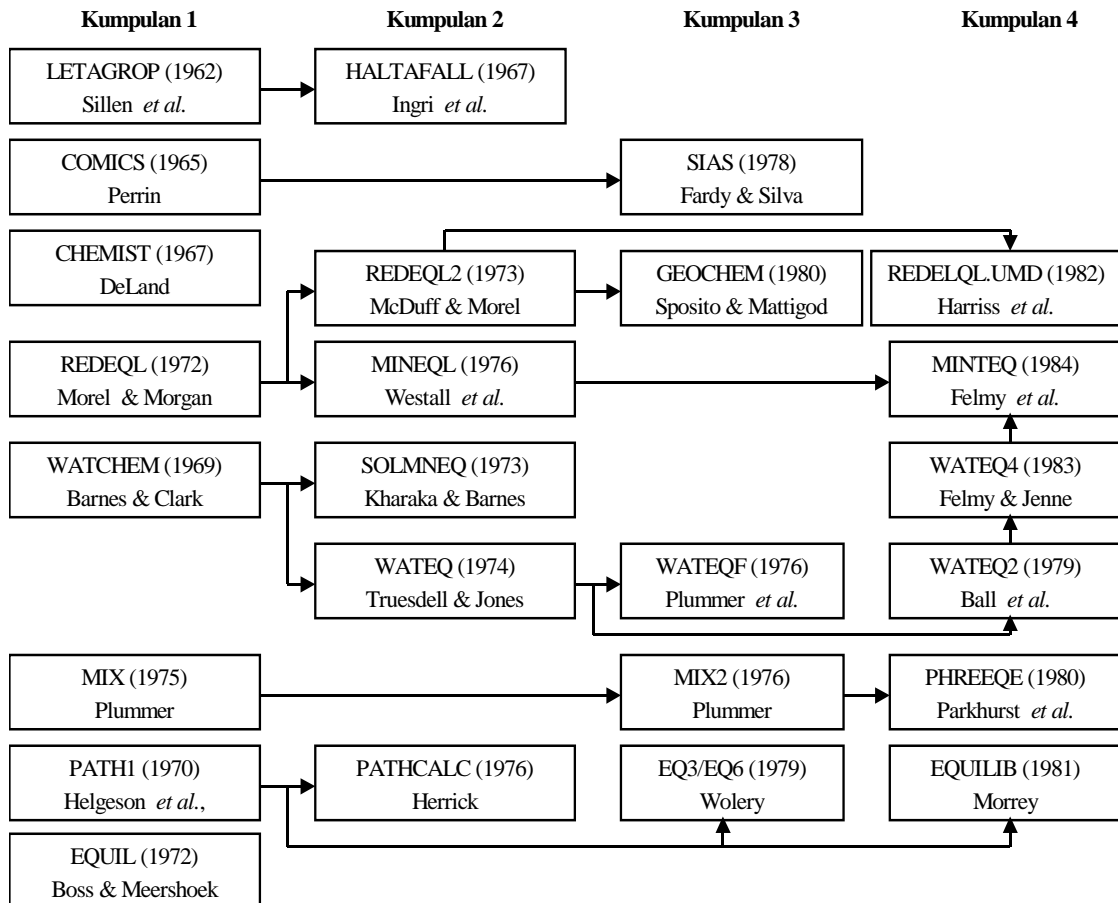
antaranya terhadap larva yolk-sack *Salmo salar* L (Lydersen *et al.*, 1990) dan anak ikan mas *Cyprinus carpio* L (Erdawati, 1997). Kajian ketoksikan logam arsenik di antaranya telah dilakukan terhadap *Chironomus zealandicus* dan *Hyridella menziesi* (McKinney, 1995) dan pada ketiga-tiga spesies Cironomid: *Chironomus zealandicus*, *Chironomus sp. a* dan *Polypedilum pavidus* (Jeyasingham dan Ling, 2000). Juga telah dilakukan kajian ketoksikan logam besi terhadap Brook trout *Salvelinus fontinalis* Mitchill (Sykora *et al.*, 1972) dan anak Brown trout *Salmo trutta* (Peuranen *et al.*, 1994; Dalzell, 1996; Dalzell dan MacFarlane, 1999). Kajian ketoksikan logam mangan di antaranya telah dilakukan terhadap Rainbow trout *Salmo trutta* (Stubblefield *et al.*, 1997) dan *Ceriodaphnia dubia* dan *Hyaella azteca* (Lasier *et al.*, 2000). Begitu pula telah dilakukan kajian ketoksikan logam zink di antaranya terhadap Rainbow trout *Salmo gairdneri* (Bradley dan Sprague, 1985), anak ikan keli *Clarias gariepinus* (Erdawati, 1997), anak udang putih *Penaeus setiferus* (Vanegas *et al.*, 1997), Rainbow trout dewasa (Bailey *et al.*, 1999) dan ikan Tilapia hitam *Oreochromis mossambicus* (Aznah Nor Anuar, 2001). Kajian ketoksikan campuran logam juga telah dilakukan oleh ahli-ahli sains terhadap kehidupan akuatik. Kajian ketoksikan campuran dua logam yang telah dilakukan di antaranya campuran kedua-dua logam Cu dan Zn terhadap anak Salmon (Sprague dan Ramsay, 1965), campuran kedua-dua logam Cd dan Zn terhadap anak udang putih *Penaeus setiferus* (Vanegas *et al.*, 1997) dan terhadap Trematoda: *Diplostomum spathaceum* (Morley *et al.*, 2002). Kajian ketoksikan campuran tiga logam yang telah dilakukan di antaranya campuran logam Al, Cu dan Mn terhadap Amphipod: *Paramelita nigroculus* Barnard (Mushibono dan Day, 1999). Juga telah dilakukan kajian ketoksikan daripada campuran logam As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb dan Zn terhadap spesies *Daphnia magna* (Enserink *et al.*, 1991; Jak *et al.*, 1996).

Selari dengan perkembangan perisian komputer dalam bidang penspesiesan kimia, para penyelidik cuba mengenal pasti bentuk spesies logam yang bersifat toksik mahupun yang tidak bersifat toksik terhadap organisma akuatik. Pendekatan yang digunakan oleh para penyelidik adalah dengan menggunakan kedua-dua kaedah kuantitatif dan kualitatif, iaitu dengan menentukan kepekatan spesies dan kemudian mengukur nilai ketoksikannya terhadap organisma akuatik. Andrew *et al.* (1977) dan Chakoumakos *et al.* (1979) melaporkan bahawa spesies  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{CuOH}^+$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CuCO}_3$ , dan  $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2^{2-}$  tidak bersifat toksik terhadap *Daphnia magna* dan Cutthroat

trout. Driscoll (1980) dan Lydersen *et al.* (1990) juga telah mengenal pasti bahawa spesies  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{AlOH}^{2+}$ ,  $\text{AlF}^{2+}$  dan  $\text{AlF}_2^+$  adalah spesies aluminium yang bersifat toksik, tetapi spesies Al-organik dan  $\text{AlSO}_4^+$  adalah spesies aluminium yang tidak toksik terhadap larva yolk-sack *Salmo salar L.* Erdawati (1997) telah mengenalpasti spesies kompleks  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu(OH)}_2$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Zn(OH)}^-$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al(OH)}_3$ ,  $\text{AlF}^{2+}$  dan  $\text{AlF}_2^+$  adalah spesies yang bersifat toksik, manakala spesies  $\text{CuCO}_3$  dan  $\text{ZnCO}_3$  adalah spesies yang tak toksik terhadap anak ikan mas (*Cyprinus carpio L.*). Juga telah dikenalpasti bahawa spesies  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Zn(OH)}^-$ , dan  $\text{Zn(OH)}_2$  bersifat toksik dan spesies  $\text{ZnHCO}_3^-$ ,  $\text{ZnCO}_3$  dan  $\text{Zn(CO}_3\text{)}^{2-}$  tidak toksik terhadap anak ikan keli *Clarias gariepinus* (Erdawati, 1997).

Kajian penspesiesan kimia dalam sistem akueus mula berkembang sejak tahun 1960an. Secara amnya, kaedah penspesiesan kimia dibahagikan kepada dua bahagian iaitu kaedah penspesiesan kimia secara ujikaji dan kaedah penspesiesan kimia secara pengiraan. Bagaimanapun, kaedah penspesiesan kimia secara pengiraan dengan berbantuan perisian komputer mengalami perkembangan cukup pesat iaitu mengikuti carta perkembangan model perisian yang ditunjukkan pada Rajah 1.1 (Kincaid, *et al.*, 1984). Hasil kajian Batley (1989) menunjukkan bahawa antara tahun 1965 hingga 1989 telah mencapai 50 perisian komputer dihasilkan untuk membantu penentuan spesies komponen atau logam secara perkiraan dalam alam sekitar manakala model perisian MINTEQ (Felmy *et al.*, 1984) merupakan model perisian komputer terbaik pada tahun 1980an (Kincaid *et al.*, 1984). Perbaikan dan penyempurnaan kepada model perisian MINTEQ (Felmy *et al.*, 1984) telah menghasilkan perisian MINTEQA1 (Brown and Allison, 1987), kemudian juga mengalami perbaikan dan penyempurnaan menjadi model perisian MINTEQA2 (Allison *et al.*, 1991). Begitu pula, perisian MINTEQA2 (Allison *et al.*, 1991) dari waktu ke waktu mengalami penyempurnaan kepada versi terkini iaitu MINTEQA2 versi 4.00 (Allison *et al.*, 1991; USEPA, 1999). Memandangkan perisian MINTEQA2 (Allison *et al.*, 1991) adalah perisian yang baru untuk masa kini dan telah banyak digunakan dalam pelbagai kajian (Hodges, 1993; Paulson, 1993; Shergill, 1993; MacDonald, 1994; Bittner, 1994; Lee, 1994; Hsieh, 1995; Fergusson, 1995; Carrillo, 1996; Taufen, 1996; Erdawati, 1997; Parikh, 1997; Lenhart, 1997; Fernandez, 1997; Xia - Kang, 1997; Bartlett, 1997; Lucchesi, 1997), maka perisian

MINTEQA2 versi 4.0 (Allison *et al.*, 1991; USEPA, 1999) dipilih untuk digunakan dalam kajian ini.



**Rajah 1.1:** Perkembangan perisian komputer untuk penentuan penspesiesan kimia (Kincaid, *et al.*, 1984).

Dalam upaya penyelesaian masalah alam sekitar di antaranya masalah kualiti air, penyelidik akan berhadapan dengan sejumlah data yang harus diselesaikan dengan menggunakan kaedah analisis regresi yang sesuai dengan pokok masalah yang dihadapi. Untuk itu, Edlund (1989) mencadangkan penggunaan kaedah regresi terpincang seperti kaedah Regresi Rabung dan kaedah regresi Komponen Utama untuk mengurangkan masalah multikolinearan. Kaedah Regresi Rabung (*Ridge regression*) adalah salah satu kaedah berganda yang mampu mengurangkan adanya korelasi yang wujud di antara pembolehubah bebas (Hoerl dan Kennard, 1970).

Kaedah Regresi Rabung merupakan pengembangan kaedah kuasa dua terkecil. Persamaan Regresi Rabung ini boleh didapati dalam perisian yang dibina berasaskan kaedah statistik di antaranya perisian STATISTICA dan STATGRAPHICS. Untuk itu Kaedah Regresi Rabung digunakan untuk menentukan ketoksikan suatu spesies logam melalui kenyataan hubungan kepekatan setiap spesies logam dengan parameter ketoksikan (96h-LC<sub>50</sub>). Sifat ketoksikan suatu spesies ditunjukkan oleh nilai pekali regresinya iaitu nilai negatif bagi spesies yang toksik dan nilai positif bagi spesies yang tak toksik. Sifat ketoksikan setiap spesies yang wujud ditentukan berdasarkan kaedah statistik (Regresi Rabung dalam perisian STATISTICA) yang menggambarkan hubungan di antara nilai ketoksikan (seperti masa hayat suatu organisma akuatik ataupun nilai 96h-LC<sub>50</sub>) sebagai pembolehubah tidak bebas dengan logaritma kepekatan spesies logam (-log M) sebagai pembolehubah bebas.

### 1.3 Tujuan dan Objektif Kajian

Adapun tujuan dan objektif kajian yang boleh dikemukakan adalah:

- 1) Menentukan dan menguji suatu model yang boleh digunakan untuk penentuan penspesiesan kimia dan sifat ketoksikan spesies logam tertentu terhadap suatu organisma akuatik.
- 2) Menguji kesahihan model yang telah dibangunkan dengan menggunakan data hasil penyelidikan daripada penyelidikan terdahulu.
- 3) Mengenal pasti tingkat pencemaran air tasik bekas lombong bijih timah dengan pemantauan kualiti air secara menyeluruh melalui penentuan beberapa parameter fisiko-kimia dan kandungan sejumlah logam dalam setiap sampel air tasik kajian.
- 4) Menentukan penspesiesan kimia dengan menggunakan model yang dibina ke atas set data kualiti air tasik selama kajian.
- 5) Menentukan kesan pH dan keliatan terhadap ketoksikan kelima-lima logam Al, As, Fe, Mn dan Zn secara individu setiap logam mahupun campuran lima logam (Al, As, Fe, Mn dan Zn) ke atas anak ikan tilapia merah (*Oreochromis sp.*).
- 6) Menentukan spesies logam dan sifat ketoksikan spesies logam yang wujud dalam sampel air tasik tercemar terhadap anak ikan tipalia merah (*Oreochromis sp.*).

## 1.4 Skop Kajian

Berdasarkan tujuan dan objektif kajian di atas maka skop kajian boleh diringkaskan kepada bahagian-bahagian berikut:

- 1) Menetapkan suatu model ketoksikan spesies logam tertentu, melalui pengujian kesahihan model penspesiesan logam yang dipilih (perisian MINTEQA2 versi 4.02 (Allison *et al.*, 1991; USEPA, 1999)), dan melihat sifat ketoksikan spesies logam yang dihasilkan. Sifat ketoksikan spesies logam tertentu yang wujud ditentukan berdasarkan kaedah Regresi Rabung (perisian STATISTICA) melalui gambaran hubungan di antara parameter ketoksikan (seperti  $LT_{50}$  atau nilai 96h- $LC_{50}$  ke atas organisma akuatik tertentu) sebagai pembolehubah tidak bebas dengan kepekatan spesies logam ( $-\log M$ ) sebagai pembolehubah bebas. Sifat ketoksikan spesies logam ditunjukkan oleh nilai pekali Regresi Rabung setiap spesies logam yang terlibat.
- 2) Pengujian kesahihan model yang telah dibina dan dilakukan ke atas set data kualiti air hasil penyelidikan terdahulu di antaranya set data daripada Lydersen *et al.* (1990) dan Erdawati (1997) untuk logam Al, Jeyasingham dan Ling (2000) untuk logam As, Dalzell dan MacFarlane (1999) untuk logam Fe, Lasier *et al.* (2000) untuk logam Mn, dan Bradley dan Sprague (1985) dan Erdawati (1997) untuk logam Zn.
- 3) Kajian di tapak persampelan untuk melihat tingkat pencemaran air tasik bekas lombong bijih timah ke atas kualiti air melalui pengukuran beberapa parameter fizik seperti suhu, pH, kekonduksian, oksigen terlarut dan pepejal terampai. Sampel air diambil untuk ujian makmal terhadap beberapa parameter kimia seperti keliatan, kealkalian, permintaan oksigen biokimia, permintaan oksigen kimia, flourida, klorida, nitrat dan sulfat serta kandungan sejumlah logam terlarut Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Sb, Se, U, V dan Zn. Kandungan logam berat dan surihan ditentukan secara serentak dengan menggunakan kaedah analisis spektroskopi jisim teraruh bergandingan (ICP-MS) yang umum.
- 4) Melakukan kajian penspesiesan kimia yang wujud bagi semua logam dalam air tasik bekas lombong bijih timah dengan menggunakan model perisian MINTEQA2 versi 4.0 (Allison *et al.*, 1991; USEPA, 1999).

- 5) Melakukan kajian kesan pH dan keliatan terhadap ketoksikan kelima-lima logam Al, As, Fe, Mn dan Zn secara individu setiap logam atau campuran logam ke atas anak ikan tilapia merah (*Oreochromis sp.*). Pelbagai nilai pH yang ditentukan adalah 6.60, 7.00, 7.50 dan 8.00, serta kedua-dua nilai keliatan iaitu 80 dan 180 mg/L sebagai  $\text{CaCO}_3$ . Parameter ketoksikan yang ditentukan adalah 96h-LC<sub>50</sub> bagi pendedahan setiap logam dan campuran kelima-lima logam Al, As, Fe, Mn dan Zn kepada anak ikan tilapia merah.
- 6) Melakukan ujian ketoksikan logam yang wujud dalam sampel air tasik tercemar terhadap anak ikan tipalia merah (*Oreochromis sp.*) dan penspesiesan kimia serta penentuan sifat ketoksikan spesies logam yang wujud dengan menggunakan model yang dibina.



data kualiti air hasil kajian ketoksikan logam individu, campuran logam dan tasik tercemar campuran logam. Hasil kajian ketoksikan logam Al(III), As(III), Fe(III), Mn(II) dan Zn(II) setiap logam individu terhadap anak ikan tilapia merah mendapati bahawa kenaikan kedua-dua keadaan keliatan dan pH dapat menurunkan sifat ketoksikan setiap logam individu (96h-LC<sub>50</sub>, M mg/L). Begitu pula, hasil kajian ketoksikan campuran lima logam Al(III), As(III), Fe(III), Mn(II) dan Zn(II) terhadap anak ikan tilapia merah mendapati bahawa kenaikan kedua-dua keadaan keliatan dan pH dapat menurunkan sifat ketoksikan campuran logam (96h-LC<sub>50</sub>, ΣTU pada TR = 1:1:1:1:1), manakala hasil kajian kesan kualiti air tasik tercemar campuran logam terhadap anak ikan tilapia merah mendapati urutan ketoksikan air tasik tercemar berdasarkan masahayat ketoksikan median (LT<sub>50</sub>) adalah L4, L1, L5, L3 dan L2.

Bagaimanapun, hasil kajian ketoksikan spesies logam yang wujud dalam setiap set data kualiti air hasil kajian ketoksikan logam individu, campuran logam dan tasik tercemar campuran logam telah merekodkan sejumlah spesies logam yang bersifat toksik iaitu  $\text{Al(OH)}^{+2}$ ,  $\text{Al(OH)}_2^+$ ,  $\text{Al(OH)}_3$ ,  $\text{Al(OH)}_4^-$ ,  $\text{AlF}^{+2}$ ,  $\text{AlF}_2^+$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ,  $\text{Fe(OH)}_2^+$ ,  $\text{Fe(OH)}_3$ ,  $\text{Fe(OH)}_4^-$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{MnOH}^+$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{ZnOH}^+$  dan  $\text{Zn(OH)}_2$ , manakala spesies  $\text{AlF}^{+2}$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ ,  $\text{HAsO}_3^{-2}$ ,  $\text{Fe(OH)}^{+2}$ ,  $\text{MnF}^+$ ,  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{MnHCO}_3^+$ ,  $\text{MnNO}_3^+$ ,  $\text{ZnCO}_3$ , dan  $\text{ZnHCO}_3^+$  yang bersifat tidak toksik terhadap anak ikan tilapia merah.

## 7.2 Cadangan

Penggunaan perisian MINTEQA2 perlu dikembangkan lebih lanjut untuk menentukan model penjerapan, nilai aktiviti Langmuir, nilai aktiviti Freundlich, model angkutan logam dalam air permukaan dan sedimen.

## RUJUKAN

- Abdul Aziz Rasul dan Sayuti M. S. (1986). *Water Quality*. Kertas Kerja disampaikan Dalam Kursus Water Quality Management in Developing Countries. Chiang Mai, Thailand.
- Adenan Abdul Latif (1985). *Pembangunan Semula Kawasan Bekas Lombong*. Tesis Sarjanamuda Kejuruteraan (Awam), Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia.
- Ahmad Abbas Kulti dan Lai Mei Hui (2001). Analisis Kandungan Logam Berat Dalam Air dan Tisu Ikan di Tasik Chini. *Malay. J. Anal. Sci.*, **7**(1): 273 - 279.
- Ahmad Ismail dan Ahmad Badri Mohammad (1992). *Ekologi Air Tawar*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia, Kuala Lumpur.
- Ahrland, S. (1975). Metal Complexes Present in Seawater. Dalam: Goldberg, E. D., (pnyt.), *The Nature of Seawater*. Berlin, Springer - Verlag.
- Alabaster, J. S. dan Lloyd, R. (1982). *Water Quality for Freshwater Fish*. London: Butterworths.
- Alexdamer, J., Högberg, J., Thomassen, Y. dan Aaseth, J. (1988). Selenium. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Alias Mohd. Yusuf, Marpongahtun Misni, Abu Bakar Fadzhil, Tarmizi Ismail dan Abdul Khalik Hj. Wood. (1999). Speciation and Distribution of Inorganic arsenic and Selenium Species in Relation to Marine Sediment Transport Phenomena. *Malay. J. Anal. Sci.*, **5**(1): 167 – 180.
- Alias Mohd. Yusof dan Abd. Khalik Wood. (1993). Environmental Assessment of Coastal Sediments by the Elemental Rationing Technique. *J. Radioanal. Nucl. Chem. Articles*, **167**(2): 341 - 351.
- Allard, B., Håkanson, K. dan Karlsson, S. (1987). The Importance of Sorption Phenomena in Relation to Trace Element Speciation and Mobility. Dalam: Landner, L. (penyt.), *Speciations of Metals in Water, Sediment and Soil Systems*. Berlin, Springer - Verlag.

- Allen, H. E., Perdue, E. M., dan Brown, D. (1993). *Metals in Groundwater*. Boca Raton: Lewis Publisher.
- Allison, D. J., Brown, D. S. dan Novo - Gradac, K. J. (1991). *MINTEQA2/PRODEFA2: A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems (EPA/600/3/91/021)*. U. S. Environmental Protection Agency, Athens, G. A.
- American Public Health Association (1985). *Standard Methods for Examination of Water dan Wastewater*. Ed. 16<sup>th</sup>. New York.
- Amran Hj. Abdullah (1983). *Ciri - ciri Geoteknik dan Kelakuan Tanah Lombong Bijih Timah di Sekitar Kuala Lumpur*. Tesis Sarjanamuda Kejuruteraan (Awam), Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia.
- Anderson, P. D., Horovitch, H. dan Weinstein, N. L. (1979). Pollutant Mixtures in Aquatic Environment: A Complex Problem in Toxic Hazard Assessment. *Tech. Rep. Fisher. Mar. Surv. Can.*, **862**: 100 - 114.
- Andrew, R. W., Biesinger, K. E. dan Glass, G. E. (1977). Effects of Inorganic Complexing on The Toxicity of Copper to *Daphnia Magna*. *Water Res.*, **11**: 309 – 315.
- Angerer, J. dan Heinrich, R. (1988). Cobalt. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Arnold, W. (1988). Arsenik. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Artola, C. G., Pareja, B. L. dan Garcia, P. G. (1995). Impact on Hydrology and Nutrient Movements and Developments in River Basins Draining into Reservoirs. *Water Res.*, **29**(2): 601 – 609.
- Arumugam, P. T. dan Furtado, J. I. (1980). Physico - chemistry, Destrification and Nutrient Budget of Lowland Eutropicated Malaysian Reservoir and Limnological Implications. *Hydrobiologia*, **70**: 11 - 24.
- Aswathanarayana, U. (1995). *Geoenvironment : An Introduction*. Rotterdam: AA Balkema.
- Aznah Nor Anuar (2001). *Proses Bio - Akumulasi Plumbum, Zink dan Kadmium Dalam Ikan Tilapia Hitam (Oreochromis mossambicus) Serta Potensinya Sebagai Penunjuk Biologi Pencemaran Akuatik*. Tesis Sarjana, Universiti Teknologi Malaysia.
- Baes, C. F. dan Mesmer, R. E. (1976). *The Hydrolysis of Cations*. New York, John Wiley & Sons.

- Bailey, H. C., Elphick, J. R., Potter, A. dan Zak, B. (1999). Zink Toxicity in Stormwater Runoff from Sawmills in British Columbia. *Water Res.* **33**(11): 2721 - 2725.
- Baker, J. P. dan Schofield, C. L. (1982). Aluminium Toxicity to Fish in Acidic Waters. *Water Air Pollut.*, **18**: 289 – 309.
- Ball, J. W., Jenne, E. A. dan Cantrell, M. W. (1981). *WATEQ3: A Geochemical Model 8 with Uranium Added*. U. S. Geol. Surv. Open File Rep.
- Ball, J. W., Jenne, E. A. dan Nordstrom, D. K. (1979). WATEQ2: A Computerized Chemical Model for Trace and Mayor Element Speciation and Mineral Equilibria of Natural Waters. Dalam: Jenne, E. A. (pnyt.), *Chemical Modelling in Aqueous System*. ACS Symp. Sep. 93. American Chemical Society.
- Barnes, I. dan Clark, F. E. (1969). *Chemical Properties of Groundwater and Their Encrustation Effect on Mells*. U.S. Geol. Surv. Prof. papers 489 - D.
- Bartlett, L. B., (1997). *Aqueous Chromium(III) Oxidation By Free Chlorine In The Presence of Model Organic Ligands: Chemistry in Context of Environmental Regulations (Speciation)*. Disertation PhD Abstracts. Duke University.
- Batley, G. E. dan Florence, T. M. (1976). Determination of the Chemical Forms of Disolved Cadmium, Lead and Copper Ion Seawater. *Mar. Chem.*, **4**: 347–363.
- Batley, G. E. (pnyt.), (1989). *Trace Element Speciation: Analytical Methods and Problem*. Boca Raton, Florida: CRC. Press.
- Beamis, R. J. dan Harvey, H. H. (1972). Acidification of the La Clocke Mountain Lake Ontario, and resulting Fish Mortalities. *J. Fish. Res. Board Can.*, **29**: 1131 - 1143.
- Benes, P., Gjessing, E. T. dan Steinnes, E. (1976). Interactions Between Humus and Trace Elements in Fresh Water. *Water. Res.*, **10**: 711 - 716.
- Benes, P. dan Steinnes, E. (1974). In situ Dyalisis for Determination of the State of Trace Element in Natural Water. *Water Res.*, **9**: 741 – 716.
- Benes, P. dan Steinnes, E. (1975). Migration Form of Trace Element in Natural Fresh Waters and Effect of the Water Storage. *Water Res.*, **9**: 741 – 749.
- Bennet, B. G. (1984). Dalam: Sunderman, Jr. F. W. (penyt.), *Nickel in the Human Environment*. Lyon, Int. Agency Res. Cancer.
- Bertholf, R. L. (1988). Zinc. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.

- Bertholf, R. L., Wills, M. R. dan Savory, J. (1988). Aluminium. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Biesinger, K. E., Christensen, G. M. dan Fiandt, J. T. (1986). Effect of Metal Salt Methodologies for Aluminium Speciation in Environmental and BioloMixtures on *Daphnia magna*, Reproduction. *Ecotoxicol. Environmen. Safety*, **11**: 9 - 14.
- Bi, S. P., Yang, X. D., Zhang, F. P., Wang, X. L. dan Zou, G. W. (2001). Analytical Methodologies for Aluminium Speciation in Environmental and Biological Samples – Review. *Fresenius J. Anal. Chem.*, **370**: 986 – 996.
- Bittner, M. A. (1994). *The Effect of Dissolved Natural Organics on the Chronic Toxicity of Cadmium to Mysidopsis Bahia Molenock (Crustacea: Mysidacea)*. Dissertation EBPP Abstracts. George Mason University.
- Bjerrum, L. (1950). The Tendency of the Metal Ions Toward Complex Formation. *Chem. Pes.*, **46**: 381 – 401.
- Bocek, A. (1996). *Introduction to Tilapia Culture*. Auburn University, Alabama.
- Borgmann, U. dan Ralph, K. M. (1984). Copper Complexation and Toxicity to Freshwater Zoo Plankton. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **13**: 403 – 408.
- Bourg, A. C. M. (1982). ADSORB: A Chemical Equilibria Computer Program Accounting for Adsorption Processes in Aquatic System. *Environ. Technol. Lett.*, **3**: 305 – 310.
- Boyd, C. E. (1988). *Water Quality In Warmwater Fish Ponds*. Auburn: Auburn University.
- Bowen, H. J. M. (1966). *Trace Elements in Biochemistry*. London, Academic Press.
- Bradley, R. W. dan Sprague, J. B. (1985). The Influence of pH, Water Hardness, and Alkalinity on the Acute Lethality of Zinc to Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, **42**: 731 – 736.
- Brady, N. C. (1974). *The Nature and Properties of Soils*. New York: McMilan.
- Breger, I. A. (1968). What You Don't Know Can Hurt You: Organic Colloids and Natural Waters. Dalam: Hood, D. W. (pnyt.), *Proc. Symp. Organic Matter Natural Waters*. University of Alaska, College.
- Brinkley, S. R. (1947). Calculation of the Equilibrium Composition of System of Many Constituent. *J. Chem. Phys.*, **15**: 107 – 110.
- Brookins, D. G. (1988). *Eh-pH Diagram for Geochemistry*. New York. Spring Verlag.

- Broyd, T. W., Grant, M. M. dan Cross, J. E. (1985). *A Report on Intercomparison Studies of Computer Programs with Respectively Model: (i) Radionuclide Migration, (ii) Equilibrium Chemistry of Groundwater*. EUR 10231 EN, Commission of The European Communities, Luxembourg.
- Brown, D. S. dan Allison, J. D. (1987). *MINTEQA1: An Equilibrium Metal Speciation Model*. U.S. Environmental Protection Agency. Athena, Georgia.
- Bruland, K. W., Knauer, G. A. dan Martin, J. H. (1978). Zinc in North - East Pacific Water. *Nature*, **271**: 741 – 743.
- Bryan, G. W. dan Langston, W. J. (1992). Bioavailability, accumulation and Effect of Heavy Metals in Sediment with Specials Reference to United Kingdom Estuaries: A Review. *Environ. Pollut.*, **76**: 89 - 131.
- Buckler, D. R., Cleveland, L., Little, E. E. dan Brumbaugh, W. G. (1995). Survival, Sublethal Response and Tissue Residues of Atlantic Salmon Exposed to Acidic pH and Aluminium. *Aquat. Toxicol.*, **31**: 203 – 216.
- Buffle, J. A. (1981). Speciation of Trace Element in Natural Waters. *Trends. Anal. Chem.*, **1**: 90 – 95.
- Burrell, D. C. (1974). *Atomic Spectroscopic Analysis of Heavy Metal Pollutants in Water*. Ann Arbor Science.
- Callahan, K., Slimak, M., Gabel, N., May, C., Fowler, C., Freed, J., Jennings, P., Durfee, R., Whitmore, Maestri, B., Mabey, W., Holt, B. dan Gould, C. (1979). *Water - Related Environmental Fate of 129 Priority Pollutants. Volume I: Introduction and Technical Background, Metals and Inorganics, Pesticides and PCBs*. EPA-440/4-79-029a, EPA Contracts 68-01-3852 and 68-01-3867, Office of Water Planning and Standards, U. S. Environmental Protection Agency, Washington D. C.
- Calamari, D., Marchetti, R. dan Vailati, C. (1980). Influence of Water Hardness on Cadmium Toxicity to *Salmo Gairdnerri*. *Water Res.*, **14**: 18 – 23.
- Campbell, P. G., Bisson, C. M., Bougie, R., Tessier, A. dan Vileneuve, J. P. (1983). Speciation of Aluminium in Acidic Freshwaters. *Anal. Chem.*, **55**: 2246–2252.
- CAP (1976). *Pollution: Kuala Jurus Battle for Survival*. Consumer Association of Penang.
- Carrillo, A. (1996). *Environmental Geochemistry of the San Antonio - el Triunfo Mining Area, Suothernmost Baja California Peninsula, Mexico (Mine Drainage, Heavy Metals, Pollution)*. Dissertation PhD Abstracts. University of Wyoming.
- Carrol, J. J., Ellis, S. J. dan Oliver, W. S. (1979). Influences of Hardness Constituents On the Acute Toxicity of Cadmium to Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*).

*Bull. Aust. Soc. Limnol.*, **6**: 27 – 32.

- Cerundolo, D. L., Coons, S. F., Gibson, E. D. dan Loreti, C. P. (1988). Matrix Elements and Ligands. Dalam: Bodek, I., Lyman, W. J., Reehl, W. F. dan Rosenblatt, D. H. (pnyt.), *Environmental Inorganic Chemistry: Properties, Processes and Estimation Methods*. New York, Pergamon Press.
- Chakoumakos, C., Russo, R. C. dan Thurston, R. V. (1979). Toxicity of Copper to Cutthroat Trout (*Salmo clarki*) Under Different Conditions Alkalinity, pH, and Hardness. *Environ. Sci. Tech.*, **13**: 213 – 219.
- Chan, K. C., Goh, L. Y. dan Durdanenu, M. M. (1978). Heavy Metal Pollution in Klang River. *Malay. J. Sci.*, **5B**: 137 – 148.
- Chapman, B. M., James, R. O., Jung, R. F. dan Washington, H. G. (1982). Modelling the Transport of Reacting Chemical Contaminants in Natural Streams. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **33**: 617 – 628.
- Cherry, W. H. (1981). Distribution of Cadmium in Human Tissues. Dalam: Nriagu, J. O. (penyt.), *Cadmium in The Environment*. New York, John Wiley & Sons.
- Christensen, J. B., Botma, J. J. dan Christensen, T. H. (1999). Complexation of Cu and Pb by Doc in Polluted Groundwater: A Comparison of Experimental Data and Predictions by Computer Speciation Model (WHAM and MINTEQA2). *Water Res.*, **33**(15): 3231 – 3238.
- Clayton, G. D. dan Clayton, F.E. (1981). *Patty's Industrial Hygiene and Technology*, 3<sup>rd</sup> rev. ed., Vol. 2A. New York, John Wiley & Sons.
- Cleveland, L., Little, E.E., Ingersoll, C.G., Wiedmeyer, R. H. dan Hunn, J. B. (1991). Sensitivity of Brook Trout to Low pH, Low Calcium and Elevated Aluminium Concentrations During Laboratory Pulse Exposures. *Aquat. Toxicol.*, **19**: 303 – 318.
- Cole, G. A. (1988). *Textbook of Limnology*. 3<sup>rd</sup> Edition. Illinois: Waveland Press, Inc.
- Cooke, G. D., Welch, E. B., Petterson, S. A. dan Netwroth, P. R. (1993). *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. 2<sup>nd</sup> Edition. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Coombs, T.L. (1974). The Nature of Zinc and Copper Complexes in *Oyster Ostreaedulis*. *Mar. Biol.*, **28**: 1–10.
- Cooper, C. B., Bysshe, S., Nelken, L, Scow, K. dan Tucker, W. (1979). *Risk Assessments of Priority Pollutants: Cadmuim*. (Rough Draft), EPA Contract 68 - 010 - 3857, Task Order No. 11, Environmental Protection Agency, Washington, D. C.
- Cotton, F. A. dan Wilkinson, G. (1972). *Advanced Inorganic Chemistry*, 3<sup>th</sup> ed., New York, Interscience Publishers, Div. John Wiley & Sons.

- Cotton, F. A. dan Wilkinson, G. (1980). *Advanced Inorganic Chemistry*, 4<sup>th</sup> ed., New York, John Wiley & Sons.
- Cusimano, R. F. dan Brakke, D. F. (1986). Effect of pH on the Toxicities of Cadmium, Copper and Zinc to Steelhead Trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **43**: 1497 – 1503.
- Cuvin-Aralar, M. L. A (1994). Survival and Heavy Metal Accumulation of Two *Oreochromis niloticus* (L.) Strains Exposed to Mixtures of Zinc, Cadmium and Mercury. *Sci. Tot. Environ.*, **148**: 34 – 38.
- Dalzell, D. J. B. (1996). *The Toxicity of Iron to the Brown Trout, Salmo trutta L.* PhD. Thesis. The Nottingham Trent University, Nottingham, U.K.
- Dalzell, D. J. B. dan MacFarlane, N. A. A. (1999). The Toxicity of Iron to the Brown Trout and Effect on the Gills: A Comparison of Two Grades of Iron Sulphate. *J. Fish Biol.*, **55**: 301 - 315.
- Davis, J. M. (1980). Destratifications of Reservoirs, a Design Approach for Perforated - Pipe Compressed - Air System. *Water Serv.*, **84**: 497 – 504.
- Davis, J. C. (1975). Minimal Dissolved Oxygen Requirements of Aquatic Life With Emphasis on Canadian Species: A Review. *J. Fish Res. Bd. Can.*, **32**: 2295-2332.
- Deland, E. C. (1967). *CHEMIST – The Rand Chemical Equilibrium Program*. Rand Corporation Memo 5404-PR, AD-644-045. RAND, Santa Monica. Ithaca. New York.
- Driscoll, C. T. (1980). *Chemical Characterization of Some Dilute Acidified Lakes and Stream in New York State*. PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.
- Driscoll, C. T. (1984). A procedure for The Faction of Aqueous Aluminium in Dilute Acidic Waters. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, **16**: 267 – 283.
- Driscoll, C. T. dan Schecher, W. D. (1988). Aluminium in The Environment. Dalam: Sigel A. (pnyt.), *Metal Ion in Biological System. Vol. 24. Aluminium and its Role in Biology*. New York: Marcel Dekker.
- Dunnick, J. K. dan Fowler, B. A. (1988). Cadmium. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Duursma, E. K. dan Sevenhuysen, W. (1966). Note on Chelation and Solubility of Certain Metals in the Sea Water at Different pH Value. *Neth. J. Sea. Res.* **3**: 95 - 106.



- Dyrssen, D. dan Wedborg, M. (1974). Equilibrium Calculations on the Speciation of Elements in Seawater. Dalam: Goldberg, E. D. (pnyt.), *The Sea, Ideas dan Observation on Progress in the Study of The Sea*. Vol. 5. New York: Wiley Interscience.
- Eaton, J. G. (1973). Chronic toxicity of copper, cadmium and zinc mixture to the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Water Res.*, **7**: 1723 - 1736.
- Edlund, P. O. (1989). In identification of Transfer Function Models by Biased Regression Methods. *J. Statist. Comput. Simul.*, **31**: 131 - 148.
- Elinder, C. G. dan Piscator, M. (1979). Iron. Dalam: Friberg, L., Nordberg, G. F. dan Vouk, V. B. (Pnyt.), *Handbook on the Toxicology of Metals*. New York, Elsevier.
- Emsley, J. (1991). *The Elements*, 2<sup>nd</sup> Edition. Clarendon Press, Oxford, England.
- Enserink, E. L., Maas - Diepeveen, J. L. dan Van Leeuwen, C. J. (1991). Combined Effects of Metals: an Ecotoxicological Evaluation. *Water Res.*, **25**: 679 - 687.
- Erdawati (1997). *Kajian Penspesiesan dan Penentuan Ketoksikan Logam Aluminium, Kuprum dan Zink Dalam Larutan Aqueus*. Tesis Doktor Falsafah (Kimia), Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.
- Fardy, J. J. dan Sylva, R. N. (1978). *SIAS: A Computer Program for The Generalized Calculation of Speciation in Mixed Metal - Ligand Aqueous Systems*. AAEC/E445. Lucas Heights Research Laboratories. Australian Atomic Energy Commission, Australia.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1982). *Manual of Method in Aquatic Environment Research. Toxicity Test Part 6,4*. United Nations Rome.
- Fatimah Md. Yusoff, Ambak, M. A. dan Mohsin, A. K. M. (1982). Diurnal Fluctuations of Some Physicochemical Parameters in Swamp Lake in Malaysia. *Malay. Appl. Biol.*, **11**: 75 - 83.
- Fatimah Md. Yusoff, Mohsin, A. K. M. dan Kamal, A. S. M. (1984). Physico - Chemical Parameters in Swamp Lake in Malaysia. *Malay. Appl. Biol.*, **13**: 1-15.
- Fatimah Md. Yusoff, dan Sharr, H. A. (1987). Physico - Chemical Limnology of Zoo Negara Lake, Malaysia. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, **28**: 435-446.
- Fatimah Md. Yusoff, Zaidi, M. Z. dan Ambak, M. A. (1995). Fisheries and Environmental Management of Lake Kenyir, Malaysia. *FAO Fisheries Report*. **512**. Supplement.
- Fatimah Md. Yusoff dan Lock, M. A. (1995). Thermal Stratification and Its Role in Controlling Eutrophication in a Tropical Reservoir, Malaysia. Dalam:

- Timotius, K. H. dan Goltenboth, F. (pnyt.), *Tropical Limnology. Vol. II.* Salatiga Indonesia: Satia Wacana Christian University.
- Fatimah Md. Yusoff (1996). Environmental Management of Lake Kenyir, Malaysia: Prevention of Eutrophication. *J. Ensearch.*, **9**: 43 – 49.
- Faughnam, J. (1981). *The SURFEQL/MINEQL manual.* W. M. Keck Laboratory. California Institute Technology, Pasaden.
- Faust, S. D. dan Aly, O. S. (1981). *Chemistry of Water Treatment.* Woburn, Mass., Butterworth.
- Felmy, A. R., Girvin, D. dan Jenne, E. A. (1984). *MINTEQ: A Computer Program for Calculating Aqueous Geochemical Equilibria.* U. S. Environmental Protection Agency, Washington D. C.
- Felmy, A. R., Brown, S. M. N., Onishi, Y., Yabusaki, S. B. dan Argo, R. S. (1985). *MEXAMS – The Metals Exposure Analysis Modelling Systems.* Battelle Memorial Institute Pacific Northwest Laboratories. Richldan, W. A.
- Fergusson, J. F. dan Gavis, J. (1972). A Review of The Arsenic Cycle in Natural Water. *Water Res.*, **6**: 1259 - 1274.
- Fergusson, J. E. (1982). *Inorganic Chemistry and Earth.* Elmsford, New York. Pergamon Press.
- Fergusson, J. F. dan Anderson, M. A. (1974). Chemical Form of Arsenic in Water Supplies and Their Removal. Dalam: Rubin, A. J. (Penyt.), *Chemistry of Water Supply, Treatment and Distribution.* Ann Arbor, Mich., Ann Arbor Science Publishers.
- Fergusson, J. M. (1995). *Computer Based Modeling of Environmental Contaminants.* Dissertation MS Abstracts. Duquesne University.
- Fernandez, J. D. (1997). *Developping Biologically Relevant Methods for Determination of Bioavailable Aluminium in Surface Waters (Salvelinus Fontinalis).* Dissertation PhD Abstracts. University of Wyoming.
- Figura, P. dan McDuffie, B. (1980). Determination of Labilities of Soluble Trace Metal Species in Aqueous Environment Sample by Anodic Stripping Voltammetry and Chelex Column and Batch Methods. *Anal. Chem.*, **52**: 1433 – 1439.
- Fisher, D. R. (1988). Uranium. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds.* New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Florence, T. M. dan Batley, G. E. (1976). Trace Metals Species in Seawater.  
1. Removal of Trace Metals from Seawater by A Chelating Resin. *Talanta*, **23**: 179 – 187.

- Florence, T. M. (1977). Trace Metals Species in Freshwater. *Water Res.*, **11**: 681–687.
- Florence, T. M. dan Batley, G. E. (1980). Chemical Speciation in Natural Waters. *CRC Crit. Rev. Anal. Chem.*, **9**: 219 – 296.
- Florence, T. M. (1986). Electrochemical Approach to Trace Element Speciation in Water - A Review. *Analyst*, **111**: 489 – 495.
- Food and Agriculture Organization (FAO), (1982). *Manual of methods in aquatic environment Research*. Toxicity Test Part 6, 4” United Nation, Rome.
- Fox, M. R. S. dan Rader, J. I. (1988). Iron. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Friberg, L., Nordberg, G. F. dan Vouk, V. B. (1974). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Amsterdam, North Holland, Elsevier.
- Frost, R. R. dan Griffin, R. A. (1977). Effect of pH on Adsorption of Arsenic and Selenium from Landfill Leachate by Clay Minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **41**: 53 – 57.
- Fry, F. E. J. (1971). The Effect of Environment Factors on the Physiology of Fish. Dalam: Haor, W. S. dan Randall, D. J. (eds.). *Fish Physiology. Environmental Relations and Behaviour*. New York, Academic Press, 1-98.
- Fuller, W. H., (1977). Movement of Selective Metals, Asbestos and Cyanide in Soil Applications to Waste Disposal Problems, EPA 600/2-77-020, PB 266905, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati Ohio.
- Furness, R.W. dan Rainbow, P.S. (1990). Heavy Metals in the Marine Environment. Boca Raton, Florida, CRC Press, 67 - 80.
- Furtado, J. I. dan Mori, S. (1982). *Tasek Bera – The Ecology of a Freshwater Swamp*. Dr. W. Junk Publishers. The Hague – Boston – London. VIII–413.
- Garrel, R. M. dan Thompson, M. E. (1962). A Chemical Model for Seawater at 25 °C and One Atmosphere Total Pressure. *Am. J. Sci.*, **260**: 57 - 62.
- Gauss, J. D., Woods, P. E., Winner, R. W. dan Skillings, J. H. (1985). Acute Toxicity of Copper to Three Life Atages of *Chironomus Tentans* as Affected by Water Hardness - Alkalinity. *Environ. Pollut.*, **37A**: 149 – 157.
- Gautam, R. dan Seider, W. D. (1979). Computation of Phase and Chemical Equilibrium. I. Local and Constrained Minima in Gibbs Free Energy. II. Phasesplitting. III. Electrolytic solution. *Am. Int. Chem. Eng. J.*, **25**: 991 – 1015.

- Geonaga, X. dan Williams, D. J. A. (1988). Aluminium Speciation in Surface Waters from Welsh Updan Area. *Environ. Pollut.*, **52**: 131 – 145.
- Gerringa, L. J. A., Rijstenbil, J. W., Poortvliet, T. C. W., van Drie, J. dan Schot, M.C. (1995). Speciation of Copper and Responses of Marine Diatom *Ditylum brightwellii* Upon Increasing Copper Concentrations. *Aquat. Toxicol.*, **31**: 77 – 90.
- Ginzburg, G. (1976). Calculation of All Equilibrium Concentrations in a System of Competing Complexation. *Talanta*, **23**: 149 – 152.
- Goldman, C. R. dan Horne, A. J. (1983). *Limnology*. New York: McGraw - Hill Publishing Company.
- Golterman, H. L. (1975). *Physiological Limnology*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Gomez, S., Villar, C. dan Bonette. (1997). Zinc Toxicity in the Fish *Cnesterodon decemmaculatus* in Parana River and Rio de La Plata Estuary. *Environ. Pollut.*, **99**: 159-165. .
- Grover, D. A. dan Freyberg, D. L. (1986). *User's guide to TRANQL. A Groundwater Mass Transport and Equilibrium Chemistry Model for Multicomponent Systems*. Stanford, C. A., Department of Civil Eengineering, Stanford University.
- Guerin, T., Astruc, A. dan Astruc, M. (1999). Speciation of Arsenic and Selenium Compounds by HPLC Hyphenated to Speciation to Specific Detectors: Review of the Marin Separation Techniques. *Talanta*, **50**: 1 - 24.
- Gupta, S. K. dan Chen, K. Y. (1978). Arsenic Removal by Adsorption. *J. Water Pollut. Control Fed.*, **50**: 493 - 506.
- Hall, K. J. dan Lee, G. F. (1974). Molecular Size and Spectral Aharacterization of Organic Matter in a Meromeitric Lake. *Water Res.*, **9**: 239 - 251.
- Hamilton, M. A., Russo, R.C. dan Thurston, R. V. (1977). Trimmed Spearman-Karber Method for Estimating Median Lethal Concentrations in Toxicity Bioassays. *Environ. Sci. Technol.*, **11**: 714-719, correction **12**: 417 (1978). .
- Hamilton, J. W. dan Wetterhahn, K. E. (1988). Chromium. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Harper, H. A., Mayer, P. A., dan Podwell, V. W. (1980). *Biokimia*. Terj. Martin Muliawan, Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Harris, D. K., Ingle, S. E., Magnuson, V. R. dan Taylor, D. K. (1984). *Programmer's Manual for REDEQL.UMD*. University of Minnesota, Duluth.

- Hart, B. T. dan Davies, S. H. R. (1981) Trace metal Speciation in Three Victorian Lakes. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **32**: 175 – 189.
- Hart, B. T. (1986). Development of Water Quality Criteria and Standard. Kertas Kerja Disampaikan Dalam Kursus: *Water Quality Management in Developing Countries*. Chiang Mai. Thailand.
- Harvie, C. E. dan Weare, J. H. (1980). The Prediction of Mineral Solubilities in Natural Water: The Na - K - Mg - Ca - Cl - SO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O system: Free Energy Minimization. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**: 981 - 997.
- Helgeson, H. C. (1969). Thermodynamic of Hydrothermal Systems at Elevated Temperature and Pressures. *Am. J. Soc.*, **267**: 729 – 804.
- Helgeson, H. C., Brown, T. H., Nigrini, A. dan Jones, T. A. (1970). Calculation of Mass Transfer in Geochemical Processes Involving Aqueous Solution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **34**: 569 – 592.
- Hellawel, J. M. (1986). *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. London: Elsevier Applied Science Publishers.
- Hem, J. D. dan Robertson, C. E. (1967). *Form and Stability of Aluminium Hidroxide Complexes in Dilute Solution*. U. S. Geol. Surv. Water Supply Paper 1827-A.
- Hem, J. D. (1972). Chemistry dan Occurrence of Cadmium and Zinc in Surface Water and Ground Water. *Water Resour. Res.*, **8**: 661 – 677.
- Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Water*. 3<sup>th</sup> ed. Alexdanria, U. S. Goelological Survey, Department of The Interiuor.
- Henderson-Sellers, B. (1984). *Engineering Limnology*. Boston: Pitman Advanced Publishing Program.
- Hilmy, A. M., El-Domiaty, N. A., Deabess, A. Y. dan Abdel, L. H. A. (1987). Toxicity in *Tilapia Zilli* and *Clarias Lazeta* (pisces) Induced by Zinc, Seasonally. *Comput. Biochem. Physiol.*, **86C**: 263 – 265.
- Hocking, G. C. dan Patterson, J. C. (1991). Quasi - Two Dimensional Simulation Model. *J. Environ. Eng.*, **117**(5): 593 – 613.
- Hodges, S. L. (1993). *Geochemical Modeling Using MINTEQA2: Adsoption of Copper by Sodium-Montmorillonite*. Dissertation Degree Abstracts. Louisiana Tech University.
- Hoerl, E. A. dan Kennard, R. W. (1970). Ridge Regreasion, Aplications to Nonorthogonal Problem. *Technometrics*, **17**: 69 - 75.
- Hoerl, E. A., Kennard, R. W. dan Baldwin, K. F. (1975). Ridge Regreasion: Some Simulation. *Comm. in Statistics*, **4**: 105 – 123.

- Hopkin, S. P. (1989). *Ecophysiology of Metals in Terrestrial Invertebrates*. London: Elsevier Applied Science Publisher.
- Howarth, R. S. dan Sprague, J. B. (1978). Copper Lethality to Rainbow Trout in Water of Various Hardness and pH. *Water Res.*, **12**: 455 – 462.
- Hsieh, Cheng - Sen. (1995). *Toxic Effect of Copper and Cadmium Speciation and Particle Size and Removal in a Four - Stage RBC Process*. Dissertation PhD Abstracts. Polytechnic University.
- Huang, C. P., Elliot, H. A. dan Ashmad, R. M. (1977). Interfacial Reactions and The Fate of Heavy Metals in Soil - Water Systems. *J. Water Pollut. Control Fed.*, **49**: 745 – 756.
- Huber, C., Filella, M. dan Town, R. M. (2002). Computer Modelling of Trace Metal Ion Speciation: Practical Implementation of a Linear Continuous Function for Complexation by Natural Organic Matter, *Comput. Geosci.*, **28**: 587 – 596.
- Hue, N. V., Craddock, G. R. dan Adams, P. (1986). Effect Organic Acids on Aluminium Toxicity in Sub Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **50**: 28 – 34.
- Hunt, D. T. E. dan Wilson, A. L. (1988). *The Chemical Analysis of Water*. London. The Royal Society of Chemistry.
- Iffland, R. (1988). Antimony. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Imberger, J. dan Patterson, J. C. (1990). *Physical Limnology. Advances in Applied Mechanic*. New York: Academic Press Inc.
- Ingersol, C. G., Gulley, D. D., Mount, D. R., Mueller, M. E., Fernandez, J. D., Hockett, J. R. dan Bergman, H. L. (1990). Aluminium and Acid Toxicity to Two Strains of Brook trout (*Salvelinus Fontinalis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**: 1641 – 1648.
- Ingri, N., Kalkowicz, W., Sillen, L. G. dan Warnquist, G. (1967). High speed Computers as Supplement of Graphical Methods. V. HALTAFALL, a General Program for Calculating The Composition of Equilibrium Mixture. *Talanta*, **14**: 1261 - 1267.
- Irving, H. dan Williams, R. J. P. (1948). Order of Stability of Metal Complexes. *Nature*, **162**: 746 – 752.
- Jabatan Alam Sekitar (1982), *Laporan Tahunan 1982*. Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar, Kuala Lumpur.
- Jabatan Alam Sekitar (1985). *Water quality program 1978 – 1984*. Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sains dan Teknologi dan Alam Sekitar, Kuala Lumpur.

- Jabatan Alam Sekitar (1986a). *Final Draft (Phase I). Water Quality Criteria and Standard for Malaysia. Vol. I Executive Summary*. Kementerian Sains Teknologi dan Alam Sekitar, Kuala Lumpur.
- Jabatan Alam Sekitar (1986b). *Laporan Tahunan Kualiti Alam Sekeliling*. Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sains dan Teknologi dan Alam Sekitar, Kuala Lumpur.
- Jabatan Alam Sekitar (1996). *Laporan Tahunan 1996*. Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar, Kuala Lumpur.
- Jabatan Perikanan (1985). *Kaedah Analisa Air*. Buku Panduan Perikanan Bil. 1/85. Kementerian Pertanian Malaysia, Kuala Lumpur.
- Jak, R. G., Maas, J. L. dan Scholten, M. C. Th. (1996). Evaluation of Laboratory Derived Toxic Effect Concentration of a Mixture of Metals by Testing Fresh Water Plankton Communities in Enclosures. *Water Res.*, **30**(5): 1215 - 1227.
- Jamaluddin Md. Jahi, (2001). *Pengurusan Alam Sekitar di Malaysia*. Bangi: Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Jensen, D. L., Ledin, A. dan Christensen, T. H. (1999). Speciation of Heavy Metals in Landfill-Leachate Polluted Groundwater. *Water Res.*, **33**(11): 2642 – 2650.
- Jeyasingham, K. dan Ling, N. (2000). Acute Toxicity of Arsenic to Three Species of New Zealand Chironomids: *Chironomus zealandicus*, *Chironomus sp. A* and *Polypedilum pavidus* (Diptera, Chironomidea). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **64**: 708 – 715.
- Karpov, L. K. dan Kaz'min, L. A. (1972). Calculation of Geochemical Equilibria in Heterogeneous Multicomponent Systems. *Gekhimya*, **4**: 402 – 414.
- Kathren, R. L. (1984). *Radioactivity in the Environment*. Harwood Academic, London.
- Kaur, K. dan Bajwa, K. (1987). Effects of Zinc and Cadmium on Early Life Stages of Common Cyprinus Carpio (Linn). *Ann. Biol.*, **3**: 28 – 33.
- Keen, C. L. dan Leach, R. M. (1988). Manganese. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. and Sigel, A. (pnvt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Kementerian Kesihatan, (1985). *Risalah Kesihatan dan Pemakanan*. Kementerian Kesihatan Malaysia.
- Kerven, G. L. dan Edwards, D. G. (1987). A Short Term Colorimetric Reaction for Discrimination Between Inorganic Monomeric and Organically Complexed forms of Aluminium in Natural Waters. *Proc. Vol. 2 on Ninth Australian*

## Symposium on Analytical Chemistry.

- Khangarot, B. S. (1981). Effect of Zinc, Copper and Mercury on *Channa Marulius*. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, **9**: 639 – 643.
- Khangarot, B.S. dan Durve, V. S. (1982). Note on The Acute Toxicity and the Interactions of Zinc and Nickel to Freshwater Teleost *Channa Marulius* Block Indian. *Indian J. Anim. Sci.*, **52**: 722 – 725.
- Kharaka, Y. K. dan Barnes, I. (1973). *SOLMNEQ: Solution - Mineral Equilibrium Computations*. U. S. Geology Survey Water Resource Investigation: 73-002.
- Kincaid, C. T., Morrey, J. R. dan Rogers, J. E. (1984). *Geohydrochemical Models for Solute Migration. Vol. I: Process Description and Computer Code. Selection*. Palo Alto, Calif., Electric Power Research Institute.
- Klapper, H. (1991). *Control of Eutrophication in Inland Waters*. New York: Ellis Horword.
- Knudson, E. J. (1976). *Trace metal studies: I. Atomic Adsorbtion, Determination of Volatile Metal Hydrides: II. Inorganic Rain Chemistry: III. Metal Speciation in Marine Systems*. Decertation of Ph.D., University of Washington. USA.
- Kocaoba, S. dan Akcin, G. (2002). Removal and Recivery of Chromium and Chromium Speciation with MINTEQA2. *Talanta*, **57**: 23 - 30.
- Langard, S. dan Norseth, T. (1979). Chromium. Dalam: *Handbook on The Toxicology of Metals*. Amsterdam: Elsevier North Holland Biomedical Press.
- Langston, W. J. (1990). Toxic Effect of Metals and The Incidence of Metals Pollution in Marine Ecosystems. Dlm. Furmens, R. W. dan Rainbow, P. S. (eds.). *Heavy Metals in Marine Environment*. Boca Raton, Florida: CPC Press Inc.
- Lardner, L. (1987). *Lecture Notes in Earth Science*. New York: Springer Verlag.
- Lasier, P. J., Winger, P. V dan Bogenrieder, K. J. (2000). Toxicity of Manganese to *Ceriodaphnia dubia* and *Hyaella Azteca*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **38**: 298 - 304.
- Latimer, W. M. (1952). *The Oxidation States of Elements and Their Potentials in Aqueous Solution*, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Prentice - Hall, Inc.
- Lawless, J. F. dan Wang, P. (1976). A Simulation Study of Ridge and Other Regression Estimators. *Comm. In Statistics*, **A5**: 307 – 323.
- Laws, E. A. (1981). *Aquatic Pollution*. New York: John Wiley and Sons.
- Laxen, D. P. H. dan Harrison, R. M. (1981). The Phisicochemical Speciation of Cd, Pb, Cu, Fe dan Mn in The Final Effluent of Sewage Treatment Works and Its



- Impact on Speciation in The Receiving River. *Water Res.*, **15**: 1053 – 1065.
- Lee Yongwoo. (1994). *Effect of Metals on Nitrifying Bacteria (Copper, Nickel)*. Dissertation PhD Abstracts. Polytechnic University.
- Lenhart, J. J. (1997). *The Application of Surface Complexation Modeling to the Adsorption of Uranium (VI) Onto Hematite in the Presence of Humic and Fulvic Acids (Metal Speciation)*. Dissertation PhD Abstracts. Colorado Scholl of Mines.
- Letterman, R. D. (1991). Water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Supplies. 5<sup>th</sup>. Ed. New York. Mc Grow-Hill, Inc.
- Lind, C. J. dan Hem, J. D. (1975). *Effect of Organic Solutes on Chemical Reactions of Aluminium*. U. S. Geol. Survey Water Supply Paper 1827-G. Washington D. C.
- Lindsay, W. L. (1979). *Chemical Equilibria in Soils*. New York, John Wiley & Sons.
- Livingstone, D. A. (1963). Chemical Composition of Rivers and Lakes. U. S. Geological Survey Prof. Paper, 440 G.
- Llyod, R. (1960). The Toxicity of Zinc Sulphate to Rainbow Trout. *Ann. Appl. Biol.*, **48**: 84 – 94.
- Long, D. T. dan Angino, E. E. (1977). Chemical Speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in Mixed Freshwater, Seawater and Brine Solution. *Goechim. Cosmochim. Acta*, **41**: 1183 – 1192.
- Lucchesi, L. A. C. (1997). *The Effect of Two Processed Sewage Sludges on the Characteristics of Three Soils From Parana, Brazil and the Behavior of Sludge Zinc (Compositing, Avena Sativa, lolium Multiflorum, Oats, Ryegrass)*. Dissertation PhD Abstracts. The Ohio State University.
- Lu, F. C., Berman, P. E. dan Clegg, D. G. (1972). The Toxicity of Mercury in Man and Animal. Dalam: *Mercury Contamination in Man His Environment*. Technical rept. Series No. 137: 17 – 79. IAEA Vienna.
- Lukatelich, R., Robertson, D, Imberger, J. dan Patterson, J. (1991). Stratification, Mixing and Water Quality in Darwin Water Supply Reserviors. *Research Report*. **34**. Melbourne and Metropolitan Board of Work.
- Lumsdon, D. G. dan Evans, L. J. (1995). Predicting Chemical Speciation and Computer Simulation. Dalam: Ure, A. M. dan Davidson, C. M. (pnyt.), *Chemical Speciation in The Environment*. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Lydersen, E., Poleo, A. B. S., Muniz, I. P., Salbu, B. dan Bjorntad, H. E. (1990). The Effects of Naturally Occuring High and Low Molucular Weight Inorganic and Organic Sppecies on The Yolk - Sack Larve of Atlantic Salmon (*Salmon*

- Solar L.*) Exposed to Acidic Aluminium Rich Lake Water. *Aquat. Toxicol.*, **18**: 219 - 230.
- Lydersen, E., Salbu, B. dan Poleo, A. B. S. (1992). Size and Change Fractination of Queous Aluminium in Dilute Acidic Waters: Effects of Changes in pH and Temperature. *Analyst*, **117**: 613 – 621.
- MacDonald, E. M. (1994). *Aspects of Competitive Adsorption and Precipitation of Heavy Metals by a Clay Soil (Lead, Copper, Zinc)*. Dissertation Abstracts of Degree M. Eng., McGill University, Canada.
- MacFarlane, G. R. dan Burchett, M. D. (2001). Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metals stress in the Grey Mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Mar. Poll. Bull.*, **42** (3): 233 - 240.
- MacNoughton, M. G. (1977). Adsorption of Chromium(VI) at the Oxide - Water Interface. Dalam: Drucker, H dan Wildung, R. R. (Eds.). *Biological Implications of Metals in the Environment*. CONF - 750929, Springfield, Va., NTIS.
- Mackay, K. M., Mackay, R. A. dan Henderson. W. (1996). *Introduction to Modern Inorganic Chemistry*. Fifth Edition. New Zealand: Stanley Thornes Publisher.
- Manahan, S. M. (1984). *Environmental Chemistry*. Fourth Edition. Boston: Willard Grant Press Publishers.
- Mantoura, R. F., Dickson, A. dan Riley, J. P. (1978). The Complexation of Metal with Humic Materials in Natural Water. *Estaur. Coast. Mar. Sci.*, **6**: 387 - 408.
- Marchand, M. (1974). Physicho Chemical Forms of Cobalt, Manganese, Zinc, Chromium and Iron in Seawater With and Without Organic Material. *J. Const. Int. Explor. Mer.*, **35**: 130 – 142.
- Markert, B., dan Galler, W. (1994). Multielement Analysis of Tropical Lakes. Dalam: Pinto - Coelho, R. M., Giana, A. dan von Sperling, E., (pnyt.), *Ecology and Human Impact on Lakes and Reservoirs in Minas Gerais with Special Reference ro Future Devolepment and Management Strategies*. SECRAC-Belo-Horizonte (MG), Brazil: 27 - 43.
- Marking, L. L. (1985). Toxicity of Chemical Mixtures. Dalam: Rand, G. M. dan Petrocelli, S. R., *Fundamentals of Aquatic Technology: Method and Application*. Hemisphere Publishing Corporation.
- Marpongahtun (1997). *Analisis Arsenik dan Selenium Tak Organik Dalam Sistem. Marin di Pesisiran Pantai Johor Serta Hubungannya Dengan Fenomena Pengangkutan Enapan*. Tesis Sarjana Sains (Kimia), Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia

- Martel, A. E. dan Smith, R. M.. (1976). *Critical Stability Constants, Inorganic Complexes, Vol. 4*. New York: Plenum Press.
- McComish, M. F. dan Joo, H. O. (1988). Trace Metals. Dalam: Bodek, I., Lyman, W. J., Reehl, W. F. dan Rosenblatt, D. H. (pnyt.), *Environmental Inorganic Chemistry: Properties, Processes and Estimation Methods*. New York: Pergamon Press.
- Mason, B. dan Moore, C. B. (1982). *Principal of Geochemistry*. 4<sup>th</sup> edition. New York: John Wiley & Sons.
- Mason, A. Z. dan Jenkins, K. D. (1995). Metal Detoxification in Aquatic Organisma. Dalam: Tersier, A. dan Turner, D. R. (eds.). *Metal Spesiatio and Bioavailability in Aquatic Systems*. John Wiley and Sons Ltd.
- Mazlin bin Mokhtar, Almah Bt. Awaluddin dan Anne Lawai. (1997). Penentuan Vanadium Dalam Sampel Tunikat Perairan Marin Malaysia Timur. *Malays. J. Anal. Sci.*, **3**(2): 271 – 279.
- McDonald, D. G., Reader, J. P. dan Dalziel, T. R. K. (1989). The Combined Effects of pH and Trace Metals on Fish Ionic Regulation. Dalam: Morris, R., Taylor, E. W., Brown, D. J. A. dan Brown, J. A. (eds.). *Acid Toxicity and Aquatic Animals*. New York: Cambridge University Press.
- McDuff, R. E. dan Morel, F. M. M., (1973). *Description and Use of The Chemical Equilibrium Program REDEQL2*. Technology Report EQ-73-02. W. M. Keck Laboratory California Institute of Technology, Pasadena, C. A.
- McKinney, L. C. (1995). *The toxicity of Arsenic to Chironomus Zealandicus (Diptera: Insecta dan Hynidolla Menziest (Unionoida: Mollusca)*. Dissertation MSc. University of Waikato, New Zealand.
- McLusky, D. S. dan Hagerman, L. (1987). The Toxicity of Chromium, Nickel and Zinc Effect of Salinity and Temperature, and The Osmoregulatory Consequences in Mysid *Pramunus Flexuosus*. *Aquat. Toxicol.*, **10**: 225 – 238.
- McNamara, P., Byrne, M., Goodwin, B., Scow, K., Steber, W., Thomas, R., dan Wood, M. (1981). An Exposure and Risk Assessment for Nickel, EPA Contract 68-01-5949, Final Draft Report to Monitoring and Data Support Division, Office of Water Regulations and Standard, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Md. Adenan Suratman (1983). *Ciri - Ciri Geoteknik dan Kelakonan Tanah Lombong Bbijih Timah di Sekitar Kuala Lumpur*. Tesis Sarjanamuda Kejuruteraan (Awam), Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia.
- Md. Mokhlesur Rahman (1999). *The Determination of Heavy and Trace Metals in Public Drinking Water by Atomic Spectrometric Methods*. Thesis Master of

Science (Chemistry), Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia.

- Mercer, J. W., Faust, C. R., Miller, W. J. dan Pearson, F. J. (1982). Review of Simulation Techniques for Aquifer Thermal Energy Storage (ATES). *Adv. Hydrosci.*, **13**: 2 - 129.
- Miettinen, J.K. (1977). Inorganic Trace Element as Water Pollutants; Their Implications to Health of Man and the Aquatic Biota. Dalam: Coulston, Frederick, Mrak and Emil. *Water Quality*, Proceedings of An International Founm. Academic Press, Inc. New York. .
- Mohsin, A. K. M. dan Ambak, M. A. (1984). *Ikan Air Tawar di Semenanjung Malaysia*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Moore, J. W. dan Ramamoorthy, S. (1984). *Heavy Metals in Natural Waters. Applied Monitoring and Impact Asseement*. New York: Springer - Verlag.
- Morley, N. J., Crane, M. dan Lewis, J. W. (2002). Toxicity of Cadmium and Zinc Mixtures to *Diplostomum Spathaceum* (Trematoda: Diplostomidae) Cercarial Survival. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **43**: 28 - 33.
- Morel, F. M. M. (1983). *Principles of Aquatic Chemistry*. New York, John Wiley & Sons.
- Morel, F. M. M., dan Morgan, J. J. (1972). Numerical Method for Computing Equilibria in Aqueous Systems. *Environ. Sci. Technol.*, **6**: 58 – 67.
- Morel, F. M. M., Westal, J. C., O'Melia, C. R. dan Morgan, J. J. (1975). Fate of Trace in Los Angeles Country Wastewater Dischange. *Environ. Sci. Technol.*, **9**: 756 – 761.
- Morgan, J.J. dan Sibley, T. H. (1975). Proc, Am. Soc. Civ. Eng. Conf on Ocean. Eng. University of Delaware.
- Morrison, G. M. P. (1989). Trace Element Speciation and its Relationship to Bioavailability and Toxicity in Natural Waters. Dalam: Batley, G. E. *Trace Element Speciation: Analytical Methods and Problems*. Boca Raton Florida, CRC, Press, Inc.
- Motekaites, R. J. dan Martell, E. A. (1984). Complexes of Aluminium(III) with Hydroxy Carboxylic Acids. *Inorg. Chem.*, **23**: 18 – 23.
- Mouchet, P. dan Rizet, M. (1984). Eutrophication in Hot Countries, Water Supply. *Review J. Inter. Water Supply Ass.*, **2**(3/4).
- Mount, D. I. (1966). The Effect of Total Hardness and pH on Acute of Zinc to Fish. *J. Air Water Soil Pollut.*, **10**: 49 – 56.

- Mouvet, C. dan Bourg, A. C. W. (1983). Speciation (Including Adsorbed Species) of Copper, Lead, Nickel and Zinc in The Meuse River. *Water Res.*, **17**: 641–649.
- Mowat, F. S. dan Bundy, K. J. (2001). Experimental and mathematical/computational assessment of the acute toxicity of chemical mixtures from the microtox. *Adv. Environ. Res.*, **30**: 1-12.
- Munaf, E., Hiroki Haraguchi dan Daida Isbh. (1990). Speciation of Mercury Compounds in Waste Water by Microcolumn Liquid Chromatography Using a Preconcentration Column with Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Detection. *Anal. Chim. Acta*, **235**: 399 - 404.
- Mushibono, D. E. dan Day, J. A. (1999). The Effect of Mn on Mortality and Growth in the Freshwater Amphipod *Paramelita Nigroculus* (Barnard) Exposed to a Mixture of Al and Cu in Acidic Waters. *Water Res.*, **33**: 207 - 213.
- Nakayama, E., Kuwamoto, T., Tsurubo, T. dan Fujinaga, T. (1981). Chemical Speciation of Chromium in Seawater. Part 2: Effects Manganese Oxides and Reducible Organic Materials on the Redox Processes of Chromium. *Anal. Chim. Acta*, **130**: 401 - 404
- Narasimhan, T. N., White, A. F. dan Tokunaga, T. (1986). Groundwater Contamination from an Inactive Uranium Mill Tailing Pile. II. Application of Dynamic Mixing Model. *Water Resour. Res.*, **21**: 1820 – 1834.
- Nasfryzal Carlo (1999). *Kesan Pengudaraan ke Atas Kualiti Air Reservoir Tropika di Malaysia*. Tesis Doktor Falsafah Kejuruteraan (Awam), Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia.
- National Academy Sciences (1979). *Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants: Manganese*. Washington D. C., National Research Council.
- Nehring, R. B. dan Goettl, J. P. (1974). Acute Toxicity of Zinc Polluted Stream to Four Species of Salmonids. *Bull. Environ. Contam. Toxic.*, **12**: 464–469.
- Nemerow, N. L. (1971). *Liquid Waste of Industry*. California: Wesley Publishing Company.
- Nieboer, E. dan Richardson, D. H. S. (1980). The replacement of the non-descript term heavy metals by a biologically and chemically significant classification of metals ions. *Environ. Pollut.*, **1**(3): 97 - 112.
- Nielsen, F. H. (1977). Nickel Toxicity. Dalam: Goyer, R. A dan Mehlman, M. A. *Toxicology of Trace Elements*. Washington. Hemisphere Publishing Corporation.
- Noor Salehin Md. Nor (1998). *Removal of Iron and Manganese at Sungai Terip Reservoir by Diffused Air Aeration Technique*. Tesis Sarjana Kejuruteraan (Awam), Universiti Teknologi Malaysia, Skudai.

- Nordstrom, D.K. (1996). Trace Metal Speciation in Natural Waters: Computational Vs. Analytical. *Water, Air and Soil Pollut.*, **90**: 257 - 267.
- Nordstrom, D. K., Plummer, L. N., Wigley, T. M. L., Wolery, T. J., Ball, J. W., Jenne, E. A., Basset, R. L., Crerar, D. A., Florence, T. M., Fritz, B., Hoffman, M., Holdren, G. R., Lafon, G. M., Sposito, G. dan Tharaikill, J. (1979). A Comparison of Computerized Chemical Models for Equilibrium Calculations in Aqueous Systems. Dalam: Jenne. A. E. (pnyt.), *Chemical Modelling in Aqueous Systems*. ACS Symp. Ser. 93. American Chemical Socciety, Washington D. C.
- Nriagu, J. O. (penyt.), (1980). *Nickel in the Environment*. New York, John Wiley & Sons.
- Nriagu, J. O dan Coker, R. D. (1980). Trace Metal in Humic and Fulvic Acids from Lake Ontario sediment. *Environ. Sci. Technol.*, **14**: 443 - 446.
- Nur Fajar Yanta (2000). *Analisis Beberapa Logam Berat Dalam Air, Sedimen dan Haiwan Bercengkerang Di Pesisiran Pantai Semenanjung Malaysia And Potensi Haiwan Tersebut Sebagai Penunjuk-Bio Pencemaram Marin*. Tesis Sarjana (Kimia). Universiti Teknologi Malaysia.
- Ohman, L. O. dan Sjoberg, S. (1985). Equilibrium and Structural Studies Silicon(IV) and Aluminium(III) in Aqueous Solution. Part 13. A Potentiometric and Aluminium - 27 Nuclear Magnetic Resonance Study Speciation and Equilibrium in the Aluminium(III) - Axalic Acid - Hydroxide System. *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, **12**: 2665 – 2669.
- Pais, I. dan Jones, Jr. J. B. (1997). *The Hand Book of Trace Element*. First Edition, Boca Raton, Fl, St. Lucie Press.
- Pagenkopf, G. K., Russo, R. C. dan Thurston, R. V. (1974). Effect of Complexation on Toxicity of Copper to Fishes. *J. Fish. Res. Board Can.*, **31**: 462 – 465.
- Pagenkopf, G. K. (1980). Speciation of Zinc in Natural Waters. Dalam: Nriagu, J. U. (pnyt.), *Zinc in The Environment, Part II: Ecological Cycling*. New York: John Wiley and Sons.
- Parikh, J. M. (1997). *Sorption of Heavy Metals on Additive - Amended Barrier Materials*. Disertation MS Abstract, University of Lowell.
- Parkhurst, D. L., Thorstenson, D. C. dan Plummer, L. N. (1980). *PHREEQE: A Computer Program for Geochemical Calculation*. U. S. Geology Survey Water Resource Investigation Report 80 - 96.
- Parrish, P. R. (1985). Acute Toxicity Test. Dalam: Rand, G. M. dan Petrocelli, S. R. (eds.). *Fundamentals of aquatic toxicology: Method and Aplication*. Hemisphere Publishing Corporation.

- Passow, H. Rothstein, A. dan Clarkson, T. W. (1961). The general pharmacology of the heavy metals. *Pharmacol. Rev.*, **13**: 185 - 225.
- Paulson, C. L., (1993). *Partitioning and Speciation of Copper, Lead and Zink in Stormwater Runoff*. Disertation PhD Abstract. University of Colorado at Boulder.
- Paulauskis, J. D. dan Winner, R. W. (1988). Effects of Water Hardness and Humic Asid on Zinc Toxicity to *Daphnia Magnastraus*. *Aquat. Toxicol.*, **12**: 272 - 290.
- Perdue, E. M. (1978). Solutiuon Thermochemistry of Humuc Substances - I. Acid Base Equilibria of Humic Acid. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **42**: 1351-1358.
- Perrin, D. D. (1965). Multiple Equilibria in Assemblages of Metal Ions and Complexing Species: A Model for Biological Systems. *Nature*, **206**: 170-171.
- Petrocelli, S. R. (1985). Chronic Toxicity Test. Dalam: Rand, G. M. dan Petrocelli, S. R. (eds.). *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Method and Aplication*. Hemisphere Publishing Corporation.
- Perwak, J. S., Bysshe, M. G., Nelken, L., Scow, P. W dan Wallace, D. (1980). *An Exposure and Risk Assessment for Copper*. Final Draft Report to U. S. Environmental Protection Agency, EPA Contract 68-01-3857, Monitoring and Data Support Division, Office of Water Regulations and Standards, Washington D. C.
- Peuranen, S., Vuorimen, P. J., Vuorimen, M. dan Hollender, A. (1994). The Effect of Iron, Humic Acids and Low pH on the Gills and Physiology of Brown Trout. *Salmo Trutta. Annales Zoologica Fennief.*, **31**: 389 - 396.
- Phillips, D. J. H. (1990). Use of Macroalgae and Invertebrates as Monitors of Metal Levels in Estuaries and Coastal Waters. Dalam: Furmens, R. W. dan Rainbow, P. S. (eds.). *Heavy Metals in Marine Environment*. Boca Raton, Florida: CPC Press Inc.
- Phillips, M. H. (1994). Global Imporance and Global Cycling of Selenium. Dalam: Frankerberger, W. T. Jr. *Selenium in the Environment*. New York: Mercel Dekker Inc.
- Pickering, Q. H. (1968). Some Effects of Dissolved Oxygen Concentrations Upon the Toxicity of Zinc to Bluegill (*Lepomis macrochirus*), RAF. *Water Res.*, **2**: 187 - 194.
- Pickering, W. F. (1995). General Strategies for Speciation. Dalam: Ure, A. M. and Davidson, C. M. (pnyt.), *Chemical Speciation in The Environment*. Glasgow: Blackie Academic and Professional.

- Pierce, M. L. dan Moore, C. B. (1982). Adsorption of Arsenite and Arsenate on Amorphous Iron Hydroxide. *Water Res.*, 16: 1247-1252.
- Plummer, L. N., Jones, B. F. dan Truesdell, A. H. (1976). *WATEQF: A Fortran IV Version of WATEQ. A Computer Program for Calculation Chemical Equilibrium of Natural Waters*. U. S. Geology Survey Water Resource Investigation Report 76-13.
- Pocklington, R. (1977). Chemical Process and Interactions Involving Marine Organic Matter. *Mar. Chem.*, 5: 479 - 496.
- Poleo, A. B. S., Lydersen, E. dan Munis, I. P. (1991). The Influence of Temperature on Aqueous Aluminium Chemistry and Survival of Atlantic Salmon (*Salmo Solar L.*) Fingerlings. *Aquat. Toxicol.*, 21: 267 - 278.
- Pourbaix, M. (1966). *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*. New York, Pergamon Press, Elmsford.
- Prakash, A. dan MacGregor, D. J. (1983). Environmental and Human Health Significance of Humic Materials: An Overview. Dalam: Christman, R. F. and Gjessing, E T. (pnyt). *Aquatic and Trestrial Humic Materials*. Ann Arbor Science.
- Rai, D., Zachara, J., Schwab, A., Schmidt, R., Girvin, D. dan Rogers, J. (1984). *Chemical Attenuation Rates, Coefficients, and Constants in Leachate Migration. Vol. I: A Critical Review*. Report EA - 3356 to EPRI by Pacific Northwest Laboratories (Battelle Institute). Richldan, Wash.
- Rainbows, P. S. (1985). The Biology of Heavy Metals in The Sea. *Int. J. Environ. Stu.*, 25: 195 - 211.
- Rainbows, P. S., Phillips, D. J. H. dan Depledge, M. H. (1990). The Significance of Trace Metal Concentrations in Marine Invertebrates. *Mar. Poll. Bull.*, 21(7): 321 - 324.
- Ramlan, M. N. (1998). *Logam Berat di Alam Sekitar: Punca dan Kesan Pencemaran*. Shah Alam: Boroteks, Institut Teknologi Mara.
- Rand, G. M. (1985). Behavior. Dalam: Rand, G. M. dan Petrocelli, S. R. (eds.). *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Method and Aplication*. Hemisphere Publishing Corporation.
- Rand, G. M. dan Petrocelli, S. R. (1985). *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Method and Aplication*. Hemisphere Publishing Corporation.
- Rashed, M. N. (2001). Monitoring of Environmental Heavy Metals in Fish From Nasser Lake. *Env. Inter.*, 27: 27 - 33.
- Rashid, M. A. (1972). Role of Quinone Groups in Solubility and Complexing of Metals in Sediments and Soils. *Chem. Goel.*, 4: 241 - 247.



- Rashid, M. A. dan Leonard, J. D. (1973). Modifications in the Solubility and Precipitation Behavior of Various Metals as Result of Their Interactions with Sedimentary Humic Acid. *Chem. Geol.*, **11**: 89 - 97.
- Rawlings, J. O. (1988). *Applied Regression Analysis: a Research Tool*. California: Wadsworth and Brooks. Cole Advanced Books and Software.
- Reed, M. H. (1982). Calculation of Multicomponent Chemical Equilibria and Reaction Process Involving Minerals, Gases and Aqueous Phase. *Goechim. Cosmochim. Acta*, **46**: 513 – 528.
- Reides, A. H. (1981). Manganese Compounds. Dalam: Grayson, M. dan Eckroth, D. (Pnyt.), *Kirk - Other Encyclopedia of Chemical Technology*, 3<sup>rd</sup> ed., Vol. 14. New York, John Wiley & Sons.
- Rendell, P. S. dan Batley, G. E. (1980). Adsorption as a Control of Metal Concentration in Sediment Extracts. *Environ. Sci. Technol.*, **14**: 313 – 316.
- Rickard, D. T. (1970). The Chemistry of Copper in Natural Aqueous Solutions. *Stockholm Contrib. Geol.*, **23**: 1 – 5.
- Robberecht, H. dan van Grieken, R. (1982). Selenium in Environmental Waters: Determination, Speciation and Concentration Levels. *Talanta*, **29**: 823 - 844.
- Ronald, E. (1994). A Review of Arsenic Hazards to Plants and Minerals With Emphasis on Fishery and Wild File Resources. Dalam: Joreme, O. N. (Eds.). *Arsenic in the Environment, Human and Ecosystem Health*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E. dan Webb, J. S. (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration*, Second Edition. London, Academic Press Limited.
- Sabarathman, S. (1999). Putting Dams in Their Proper Place. *News Straits Times*. July 27.x
- Salomons, W. dan Förstner, U. (1984). *Metal in the Hydrocycle*. New York: Springer - Verlag.
- Sarkar, B. (1988). Copper. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnýt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Schecher, W. D. dan McAvoy, D. C (1991). *MINEQL<sup>+</sup>: A Chemical Equilibrium Program for Personal Computers. User's Manual, Version 2.1*. Environmental Research Software.
- Schmidt, R. L. (1984). *Thermodynamic Properties and Environmental Chemistry of Chromium*. Richland, Wash., DOE Contract DE - AC06 - 76RLO 1830, Pacific Northwest Laboratories (Battelle Institute).

- Scott, W. E., Seaman, M. T., Connel, A. D., Kohlmeyer, S. I. D and Toerien, D. F. (1977). The Limnology of Some South African Impoundment's. I: The Physicochemical Limnology of Hartbeespoort dam. *J. Limnol. Soc. Sth. Afr.*, **3**: 43 – 58.
- Scow, K., Byrne, M., Goyer, M., Nelken, L., Perwak, J., Wood, M. dan Young, S. (1981). *An Exposure and Risk Assessment for Arsenic*. Final Draft Report to U. S. Environmental Protection Agency, EPA Contract 68 - 01 - 6160, Monitoring and Data Support Division, Office of Water Planning and Standards, Washington, D. C.
- Seiler, H. G. dan Sigel, H. (1988). Concluding Remarks and Summary Tables. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnjt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Seller, C. M., Heath, A. G. dan Brass, M. L. (1975). The Effects of Sublethal Concentrations of Copper and Zinc on Ventilatory Activity, Blood Oxygen and pH in Rainbow Trout, *Salmo gairdneri*. *Water Res.*, **9**: 401 - 408.
- Shaw, T. L. dan Brown, V. M. (1974). The Toxicity of Some Forms Copper to Rainbow Trout. *Water Res.*, **8**: 377 – 382.
- Shergill, B. S. (1993). Geochemical and Numerical Modeling of Groundwater Associated with Coal Ash Disposal in an Alluvial Setting, Kentucky. Dissertation PhD Abstracts. University of Kentucky.
- Sholkovitz, E. R. (1985). Redox Related Geochemistry in Lakes: Alkali Metals. Alkaline Earth Element and <sup>137</sup>Cs. Dalam: Stumm, W., *Chemical Processes in Lakes*. New York: John Wiley & Sons.
- Shephard, B. K.m, McIntosh, A. W., Atchison, G. K., dan Nelson, D. W., (1980). Aspects of Aquatic Chemistry of Cadmium and Zinc in Heavy Metal Contaminated Lake, *Water Res.*, **14**: 1061 – 1066.
- Sienko, M. J. dan Plane, R. A. (1976). *Chemistry*. 5<sup>th</sup> ed. New York, McGraw - Hill Book Co.
- Sillen, L. G. (1962). High Speed Computers as Supplement to Graphical Methods. I. Functional Behavior of the Error Square Sum. *Acta Chem. Scandan.*, **16**: 159–172.
- Sillen, L. G. dan Martell, A. E. (1964). *Stability Constants of Metal Ion Complexes*. Chemical Society London. Special Publication No. 17.
- Singel, H. dan McCormick, D. N. (1970). On the Discriminating Behaviour of Metal Ions and Ligands with Regard to their Biological Significance. *Acc. Res.*, **3**: 201.

- Smith, M. J. dan Hearsh, A. G. (1979). Acute Toxicity of Copper, Chromate, Zinc and Cyanide to Freshwater Fish. Effect of Differents Temperature. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **32**: 113 – 119.
- Snoeyink, V. L. dan Jenkins, D. (1980). *Water Chemistry*. New York: John Wiley and Sons.
- Sparks, R. E., Walker, W. T. dan Cairns, J. (1972). Effect of Shelters on The Resistance of Dominant and Sublethal Concentration of Zinc. *J. Fish Res. Board Can.*, **19**: 1356 - 1358.
- Spehar, R. L. (1976). Cadmium and Zinc Toxicity to Flagfish. *J. Fish Res. Board Can.*, **33**: 1343 - 1352.
- Sposito, G. dan Mattigod, S. V. (1980). *A Computer Program for Calculation of Chemical Equilibria in Soil Solution and Other Natural Water System*. University California, Riverside. USA.
- Sposito, G. (1989). *The Chemistry of Soil*. Oxford: Oxford University Press.
- Sprague, J. B. dan Ramsay, B. A. (1965). Lethel Level of Mixed Copper – Zinc Solutions for Juvenile Salmon. *J. Fish Res. Board Can.*, **22**: 425 – 432.
- Sprague, J. B. (1985). Factors That Modefy Toxicity. Dalam: Rand, G. M. and Petrocelli, S. R. (eds.). *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Method and Aplication*. Washington, Hemisphere Publishing Corporation, 123 - 163.
- Sprague, H. B. dan Zitco, M. L. (1973). Zinc Deficiency-the Negleted Factor. *Chem. Br.*, **25**: 783 - 786.
- Stemann - Nielsen, E. dan Wium - Danersen, S. (1971). The Influence of Copper on Photosynthesis and Growth in Diatom. *Physiologia Plantarum*, **24**: 480–484.
- Stephens, R. dan Imberger, J. (1993). Reservoir Destratification via Mechanical Mixers. *J. Hydr. Eng.*, **119**(4): 438 – 457.
- Stiff , M. J. (1971). The Chemical States of Copper in Polluted Fresh Water and a Scheme of Analysis to Differentiate them. *Water Res.*, **5**: 585 - 599.
- Stubblefield, W. A., Brinkman, S. F., Davies, P. H., Garrison, T. D., Hockett, J.R., McIntyre, M.W. (1997). Effect of Water Hardness on the Toxicity of Manganese to developing Brown Trout (*Salmo trauta*). *Environ. Toxicol. Chem.*, **16**: 2082 – 2089.
- Stumm, W. dan Brauner, P. A. (1975). Chemical Speciation. Dalam: Riley, J. P. dan Skirrow, G. (pnyt.), *Chemical Oceanography*, 2<sup>nd</sup> ed., New York: Academic Press.
- Stumm, W. dan Morgan, J. J. (1981). *Aquatic Chemistry*, 2<sup>nd</sup> ed., New York, John Wiley & Sons.

- Sturgeon, R. E., Michael Siu, K. W., Willie, S. N. dan Berman, S. S. (1989). Quantification of Arsenic Species in a River Water Reference Material for Trace Metals by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometric Techniques. *Analyst*, **114**: 1393 – 1396.
- Subramaniam, K.S, Meranger, J.C. dan Curdy, R. F. (1984). Determination of Arsenic (III) in Some Scotian Ground Water Sample *At. Spectrosc.*, **5**(4). 192-194.
- Sunda, W. dan Guilard, L. L. R. (1976). The Relationship Between Cupric Ion Activity and Toxicity of Copper to Phytoplankton. *J. Mar. Res.*, **34**: 511 – 529.
- Sunderman, F. W. Jr. (1988). Nickel. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc., 453 - 468.
- Suyani, H., Creed, J., Davidson, T. dan Caruso, J. (1989). Inductively Coupled Plasma Mas Spectrometry and Atomic Emission Spectrometry Coupled to High Performance Liquid Chromatography for Speciation and Detection of Organotin Compounds. *J. Chromatogr. Sci.*, **27**: 139 - 143.
- Sykora, J. L., Smith, E. J. dan Synak, M. (1972). Effect of Time - Neutralised Iron Hydroxide Suspensions on Juvenile Brock Trout (*Salvelinus Fontinalls Mitchill*). *Water Res.*, **6**: 935 - 950.
- Symon, J. M., Carswell, J. K. dan Robeck, G. G. (1970). Mixing of Water Supply Reservoir for Quality Control. *J. AWWA*, **62**: 322 - 334.
- Tan, K. H. (1982). *Principles of Soil Chemistry*. New York: Marcel Dekker.
- Tan, Y. T. dan Prowse, G. A. (1972). A Chemical Survey of The Malacca River. *Malaysian Agric.*, **48**: 185 – 221.
- Tao Shu., Wen Yi, Long Aimin, Dawson, R., Cao Jun dan Xu Fulia (2001). Simulation of Acid-Base Condition and Copper Speciation in the Fish Gill Microenvironment. *Com. Chem.*, **25**: 215 – 222.
- Tripathi, V. S. (1986). An Algorithm and a FORTRAN Program (CHEMEQUIL - 2) for Calculation of Complex Equilibrium. *Talanta*, **33**: 1015 – 1020.
- Taufen, P. M. (1996). A Geochemical Study of Groundwaters and Stream Waters at Two Mineralized Sites in the Noranda District, Quebec: Application to Mineral Prospecting, Mine Development and Environmental Remediation. Dissertation PhD Abstracts. Colorado School of Mines.
- Tuesdale, G. dan Taylor, G. (1978). Quality Implications in Reservoirs Filled from Surface Water Source. *Prog. Water Tech.*, **10**(3/4): 289 - 300.

- Trusdell, A. H. dan Jones, B. F. (1974). *WATEQ: A Computer Program for Calculating Chemical Equilibria of Natural Water*. U. S. Geology Survey Water and Resource Investigation Report: 84 - 16.
- Turekian, K. K. (1977). The Fate of Metals in Oceans. *Goechim. Cosmochim. Acta*, **41**: 1139 – 1144.
- Turnbull, A. G. dan Wadsley, M. W. (1987). *The CSIRO - SGTE THERMODYN. System (Version V)*. CSIRO Division of Mineral Chemistry, Melbourne.
- Turner, D. R. (1995). Problems in Trace Metal Speciation Modeling. Dalam: Tessier, A dan Turner, D. R (edd.), *Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic System*. Chichester-New York: John Wiley & Sons.
- Turner, D. R., Whitfield, M. dan Dickson, A. G. (1981). The Equilibrium Speciation of Dissolved Components in Freshwater and Seawater at 20 °C and 1 atm Pressure. *Goechim. Cosmochim. Acta*, **45**: 855 – 881.
- USEPA (1978). *Reviews of the Environmental Effect of Pollutants: Chromium*. Report EPA - 600/1 - 78 - 023, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- USEPA (1979). *Method for Chemical Analysis of Water and Wastes*. Environmental Monitoring and Support Laboratory, Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio.
- USEPA (1980). *Ambient Water Criteria for Cadmium*. Report No. EPA - 440/5-80 - 025, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C.
- USEPA (1980a). *Ambient Water Criteria for Chromium*. Report EPA - 440/5 - 80 - 035, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C.
- USEPA, (1980b). *Ambient Water Quality Criteria for Zinc*. Report No. EPA-440/5 - 80 - 079, U. S. Environmental Protection Agency.
- USEPA (1984). *Health Assessment Document for Manganese*. EPA - 600/8 - 83 - 013F, U. S. Environmental Protection Agency.
- USEPA (1999). *MINTEQA2/PRODEFA2: A Geochemical Assessment Models for Environmental System: User Manual Supplement for Version 4.0*. Athens, Georgia. HydroGeoLogic, Inc. and Allison Geoscience Consultants, Inc.
- van der Leeden, F., Troise, L. T. dan Todd, D. K. (eds.) (1990). *The Water Encyclopedia*. Boca Raton, FL., Lewis Publisher.
- van der Schalie, W. H. (1985). Can Biological Monitoring Early Warning Systems Be Useful in Detecting Toxic Materials in Water?. *Aquatic Toxicology and Environmental Fate*, Ninth Volume. Dalam: Poston, M. and Purdy, R. (peny.), *American Society for testing and Materials*, ASTM STP 921, T. M. Philadelphia.

- van den Berg, C. M. G. dan Kramer, J. R. (1979). Conditional Stability Constants for Copper Ions with Ligands in Natural Waters. Dalam: Jenne, E. A. (pnyt.), *Chemical Modeling in Aqueous Systems*. Washington, D. C., Symposium Series 93, Ammerican Chemical Society.
- Vanegas, C., Espina, S., Botello, A. V. dan Villanueva, S. (1997). Acute Toxicity and Synergism of Cadmium and Zinc in White Shrimp, *Penaeus Setiferus*, Juveniles. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **58**: 87 - 92.
- Viarengo, A. (1985). Biochemical effects of trace metals. *Mar. Poll. Bull.*, **16**: 153 - 158.
- Vijayan, M. M., Morgan, J. D., Sakamoto, T., Grau, E. G., Iwama, G.K. (1996). Food Deprivation Effects Seawater Acclimation in Tilapia: Hormonal and Metabolic Changes. *J. Exp. Biol.*, **199**: 2467 – 2475.
- Vinod, H. D. dan Ullah, A. (1981). *Recent Advances in Regression Methods*. New York. Marcel Dekker Inc.
- Wagemann (1978). Some Theoretical Aspects of Stability and Solubility of Inorganic Arsenic in the Freshwater Environment. *Water Res.*, **12**: 139 - 145.
- Wan Azam Wan Hamid (1994). *Reservoir Sungai Layang: Pelintapan Suhu and Kesannya ke Atas Kualiti Air Rawatan*. Tesis Sarjana Kejuruteraan Awam (Alam Sekitar), Universiti Teknologi Malaysia.
- Waters, M. D. (1977). Toxicity of Vanadium. Dalam: Goyer. R, A dan Mehlman, M. A. *Toxicology of Trace Elements*. Washington. Hemisphere Publishing Corporation.
- Wauchope, R. D. (1975). Fixation of Arsenical Herbicides, Phosphate and Arsenical in Alluvial Soils. *J. Environ. Qual.*, **4**: 499 - 507.
- Weatherley, Rogers, A. P., Goenaga, X. dan Ormerod, S. J. (1990). The Survival of Early Life Stages of Brown Trout (*Salmo trutta L.*) in Relation to Aluminium Speciation in Upland Welsh Streams. *Aquat. Toxicol.*, **17**: 213 – 231.
- Wedspohl, K. H. (1970). Copper. Dalam: Wedspohl, K.H. (pnyt.), *Handbook of Geochemistry*. New York: Springer - Verlag.
- Wennig, R. dan Krisch, N. (1988). Vanadium. Dalam: Seiler, G. H., Sigel, H. dan Sigel, A. (pnyt.), *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*. New York and Basel, Marcel Dekker, Inc.
- Wepener, V., Van Vuren, J. H. J. dan Du Preez, H. H. (1992). Effect of Manganese and Iron at a Neutral and Acidic pH on the Hematology of the Banded Tilapia (*Tilapia Sparrmanii*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **49**: 613 – 619.
- Wiro Sarjono (1974). *Pertumbuhan Industri dan Pengawasan Pencemaran Air*.

Bandung: Pusat Penelitian and Pengembangan Pengairan Bandung

- Westall, J. C., Zachary, J. L. dan Morel, F. M. M. (1976). *MINEQL: A Computer Program for the Calculation of Chemical Equilibrium Composition of Aqueous Systems*. Technology Note 18. Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge.
- Westall, J. C. (1979). *MIQROQL: A Chemical Equilibrium Program in Basic*. Swiss Federal Institute of Technology (EAWAG), Deobendorf, Switzerland.
- Westall, J. C., Zachary, J. L. dan Morel, F. M. M. (1976). *MINEQL: A Computer Program for the Calculation of Chemical Equilibrium Composition of Aqueous Systems*. Technology Note 18. Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge.
- Wetzel, R. G. (1975). *Limnology*. Philadelphia: W. B. Saunders Co.
- WHO (1996). *Guidelines for Drinking Water Quality*. 2. Geneva, Switzerland.
- Wigley, T. M. L. (1977). WATSPEC: A Computer Program for Determining the Equilibrium Speciation of Aqueous Solutions. *Geomorphol. Res. Group Tech. Bull.*, 20.
- Wilkins (1974). *The Study of Kinetics and Mechanism of Reactions of Transition Metal Complexes*. Boston, Allyn and Bacon.
- Wilson, D. E. dan Kinney, P. (1977). Effects of Polymers Change Variations on the Proton - Metal Ion Equilibria of Humic Materials. *Limnol. Oceanogr.*, **26**: 281 – 289.
- Winner, R W. dan Gauss, J. D. (1986). Relationship Between Chronic Toxicity and Bioaccumulation of Copper, Cadmium and Zinc as Affected by Water Hardness and Humic Acid. *Aquat. Toxicol.*, **8**: 149 – 161.
- Wood, J. M. (1974). Biological cycles for toxic elements in environment. *Science*, **183**: 1049 - 1052.
- Wolery, T. J. (1979). *Calculation of Chemical Equilibrium Between Aqueous Solution and Mineral*. The EQ/36 Software Package. UCRL - 52658. Lawrence Livermore National Laboratory. Livermore, CA.
- Xia Kang (1997). Species - Specific Exchange Reaction Controlling Solubility of Trace Elements in Soil (Isotope Exchange, Loam, Contamination, Humus). Dissertation PHD Abstracts. The University of Wisconsin - Madison.
- Zirino, A. (1970). Inorganic Zinc Complexes in Seawater. *Limnol. Oceanogr.*, **15**: 956 – 958.
- Zirino, A. dan Yamamoto, S. (1972). A pH - Dependent Model for the Chemical Speciation of Copper, Zinc, Cadmium, and Lead in Seawater. *Limnol.*